



**TUGAS AKHIR - MO 141326**

**ANALISA PENGARUH *WELDING SEQUENCE* TERHADAP  
TEGANGAN SISA DAN DISTORSI PADA SAMBUNGAN  
TUBULAR DT-JOINT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN  
HINGGA**

**Rifqi Bintari Nurhayati**

NRP. 4312 100 121

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**

**Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.**

**JURUSAN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - MO 141326

***ANALYSIS OF WELDING SEQUENCE EFFECTS ON  
RESIDUAL STRESS AND DISTORION FOR TUBULAR DT-  
JOINT USING FINITE ELEMENT METHOD***

**Rifqi Bintari Nurhayati**

NRP. 4312 100 121

**SUPERVISORS :**

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**

**Ir. Handayanu M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute of Technology**

**Surabaya 2016**

**ANALISA PENGARUH WELDING SEQUENCE TERHADAP  
TEGANGAN SISA DAN DISTORSI PADA SAMBUNGAN TUBULAR  
DT-JOINT MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

**RIFQI BINTARI NURHAYATI** NRP. 4312 100 121

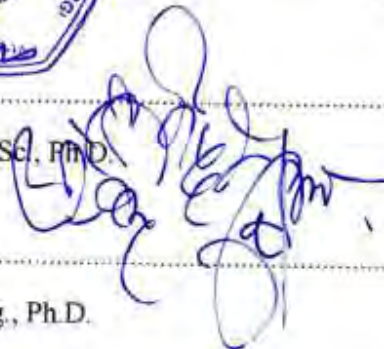
Disetujui oleh :

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)



2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)



4. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji 2)

5. Dr. Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISA PENGARUH *WELDING SEQUENCE* TERHADAP TEGANGAN  
SISA DAN DISTORSI PADA SAMBUNGAN *TUBULAR DT-JOINT*  
MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

<b>Name</b>	<b>: Rifqi Bintari Nurhayati</b>
<b>NRP</b>	<b>: 4312100121</b>
<b>Department</b>	<b>: Teknik Kelautan – FTK ITS</b>
<b>Supervisors</b>	<b>: Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.</b>

**ABSTRAK**

Dalam penelitian tugas akhir ini akan dilakukan analisa pengaruh urutan pengelasan (*welding sequences*) terhadap tegangan sisa dan distorsi pada Sambungan *tubular DT-Joint* menggunakan metode elemen hingga. Tegangan sisa dan deformasi akibat proses pengelasan timbul akibat distribusi suhu yang tidak merata selama proses pemanasan dan pendinginan di daerah yang terlokalisir. Pemodelan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga dengan material baja *tubular DT-Joint* yang digunakan adalah ASTM A36. Pada pemodelan ini dilakukan dua analisa, yaitu analisa thermal dan analisa struktural. Dalam analisa thermal ini didapatkan distribusi thermal pada *tubular DT-Joint* setelah diaplikasikan beban *heat flux* saat pengelasan dan dilakukan pendinginan. Sedangkan dalam analisa struktural ini didapatkan nilai tegangan sisa dan deformasi setelah proses pengelasan dan pendinginan. Analisa dilakukan dengan menggunakan variasi urutan pengelasan (*welding sequences*). Dalam penelitian ini urutan pengelasan yang digunakan adalah urutan pengelasan menerus, simetris dan loncat atau putus-putus, dimana bertujuan agar mendapatkan urutan pengelasan yang menghasilkan tegangan sisa dan distorsi terkecil. Dalam penelitian ini dilakukan validasi dengan jurnal yang memiliki kesamaan material propertis serta *Welding Procedur Specification* (WPS). Tegangan sisa aksial dan deformasi terkecil adalah pengelasan menggunakan urutan pengelasan loncat, yaitu tegangan sisa aksial maksimal sebesar 252.736 MPa pada *chord* bagian atas dan 301.8 MPa pada bagian bawah *chord*.

**Kata Kunci :** deformasi, distorsi, tegangan sisa, *welding sequences*.

# **ANALYSIS OF WELDING SEQUENCE EFFECTS ON RESIDUAL STRESS AND DISTORTION FOR TUBULAR DT-JOINT USING FINITE ELEMENT METHOD**

**Name** : Rifqi Bintari Nurhayati  
**NRP** : 4312100121  
**Department** : Teknik Kelautan – FTK ITS  
**Supervisors** : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

## **ABSTRACT**

In this research will be to analyze the influence of the welding sequence of the residual stress and distortion on Tubular *DT-Joint* connection using the finite element method. Residual stress and deformation due to the welding process arising from uneven temperature distribution during the process of heating and cooling in localized areas. Software-based modeling using finite element method with tubular steel material Tubular *DT-Joint* used is ASTM A36. In this modeling performed two analyzes, namely thermal analysis and structural analysis. In this thermal analysis thermal distribution obtained in the tubular *DT-Joint* after heat load applied flux when welding and cooling is done. While in the structural analysis is obtained value of residual stress and deformation after the welding process and cooling. The analyzes were performed using the welding sequence variations (welding sequences). In this study used welding sequence is a sequence of continuous welding, symmetric and jump or breaks up, which aims to get a welding sequence that produces the smallest residual stress and distortion. In this study validated by journals that have the same material properties as well as the Welding Procedure Specification (WPS). Axial residual stress and deformation is the smallest jump welding using welding sequence, the axial residual stress at a maximum of 252 736 MPa at the upper chord and 301.8 MPa at the bottom chord.

**Keywords :** deformation, distortion, residual stress, welding sequences.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>COVER.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Thermal Las .....	6
2.2.2 Kondisi Awal dan Kondisi Batas .....	7
2.2.3 Siklus Termal Las .....	8
2.2.4 Distribusi Panas .....	9
2.2.5 Tegangan Sisa.....	11

2.2.6	Distorsi Pada Struktur Las .....	18
2.2.7	Urutan Pengelasan.....	20
2.2.8	Metode Elemen Hingga.....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>33</b>
3.1	Diagram Alir .....	33
3.2	Penjelasan Diagram Alir .....	34
3.2.1	Studi Literatur .....	34
3.2.2	Pengumpulan Data .....	34
3.2.3	Pemodelan .....	36
3.2.4	Simulasi Model .....	36
3.2.5	Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi.....	36
3.2.6	Validasi Model .....	37
3.2.7	Hasil dan Pembahasan.....	37
3.3	Deskripsi Pemodelan dan Simulasi.....	37
3.3.1	Pemodelan Geometri.....	37
3.3.2	Simulasi Pengelasan.....	40
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>43</b>
4.1	Prosedur Pengelasan <i>Heat Flux</i> .....	43
4.2	Analisa Thermal .....	45
4.2.1	Pemilihan Meshing .....	45
4.2.2	Meshing Sensitivity.....	45
4.2.3	Validasi Temperatur.....	46
4.3	Analisa Struktural.....	49
4.3.1	Validasi Tegangan Sisa .....	50
4.3.2	Hasil Distorsi Tubular DT-Joint. ....	54
<b>BAB V.....</b>		<b>57</b>

<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
----------------------------------	-----------

5.1	Kesimpulan.....	57
-----	-----------------	----

5.2	Saran .....	58
-----	-------------	----

<b>BAB VI DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>59</b>
-----------------------------------	-----------

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus termal las (J.J Dike 1998).....	8
Gambar 2.2 Pembentukan Tegangan Sisa (Wiryosumarto, 2000 ).....	12
Gambar 2.3 Tegangan Sisa karena Penahan Luar pada Las (Wiryosumarto, 2000 ) .....	12
Gambar 2.4 Skema distribusi tegangan sisa dalam sambungan las tumpul (Wiryosumarto, 2000 ).....	13
Gambar 2.5 Skema distribusi tegangan sisa pada las berbentuk lingkaran (Wiryosumarto, 2000 ).....	14
Gambar 2.6 Skema distribusi tegangan sisa pad alas melingkar pada pipa (Wiryosumarto, 2000 ).....	14
Gambar 2.7 Urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000) .....	17
Gambar 2.8 Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000) .....	17
Gambar 2.9 Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000) .....	18
Gambar 2.10 Macam-macam distorsi dalam pengelasan (Masubuchi, 1980) .....	19
Gambar 2.12 Urutan pengelasan maju atau menerus ( Totok, 2009).....	21
Gambar 2.13 Urutan pengelasan simetris ( Totok, 2009). .....	22
Gambar 2.14 Urutan pengelasan loncat / putus-putus ( Totok, 2009). .....	22
Gambar 2.15 Geometri Elemen SOLID70 (ANSYS 16.0 Element References)..	25
Gambar 2.16 Geometri Elemen SOLID45 ((ANSYS 16.0 Element References). 26	
Gambar 2.17 Skema konveksi.....	29

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	33
Gambar 3.2 Kurva Stress-strain ASTM A36 .....	35
Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan Geometri tubular joint tipe double T .....	38
Gambar 3.4 Hasil meshing Tubular double T (31184 elemen) .....	39
Gambar 3.5 Diagram alir simulasi pengelasan.....	40
Gambar 4.1 Sensitivitas meshing .....	46
Gambar 4.2 <i>Pathline</i> .....	47
Gambar 4.3 Nodal Temperatur .....	47
Gambar 4.4 Validasi distribusi panas dari <i>weldtoe</i> sampai ujung <i>chord</i> .....	48
Gambar 4.5 Distribusi panas Pengelasan menerus.....	48
Gambar 4.6 Distribusi panas Pengelasan simetris.....	49
Gambar 4.7 Distribusi panas Pengelasan loncat.....	49
Gambar 4.8 Tegangan sisa aksial pengelasan menerus.....	50
Gambar 4.9 Tegangan sisa aksial pengelasan simetris.....	51
Gambar 4.10 Tegangan sisa aksial pengelasan putus-putus / loncat.....	52
Gambar 4.11 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan menerus .....	52
Gambar 4.12 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan simetris .....	53
Gambar 4.13 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan loncat / putus-putus ....	53
Gambar 4.14 Total Defomasi pada pengelasan menerus .....	54
Gambar 4.15 Total Defomasi pada pengelasan simetris .....	54
Gambar 4.16 Total Defomasi pada pengelasan loncat / putus-putus .....	55

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Koefisien efisiensi dari proses pengelasan.....	7
Tabel 3.1 Data Welding Procedur Spesification (WPS) .....	34
Tabel 3.2 Data Geometri Serang “SA” Platform .....	35
Tabel 3.3 Data Material Propertis ASTM A36 .....	35
Tabel 4.1 WPS (welding Procedure Specification).....	44

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A INPUT COMMAND ANALISA THERMAL

LAMPIRAN B INPUT COMMAND ANALISA STRUKTURAL

LAMPIRAN C INPUT COMMAND BOUNDARY CONDITION JEPIT

LAMPIRAN D SCREENSHOT TAHAP PEMODELAN

LAMPIRAN E DATA PENGELASAN BERDASARKAN WELDING  
PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

LAMPIRAN F LOADSTEP URUTAN PENGELASAN

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Melihat perkembangan industri minyak dan gas yang begitu pesat, maka dituntut pula perkembangan rancang bangun struktur anjungan lepas pantai untuk lebih handal dan kompetitif. Komponen utama bangunan lepas pantai khususnya yang bertipe *fixed platform* umumnya terdiri atas baja dengan bentuk silindris yang disebut *tubular*. Sambungan *tubular* dengan bagian utama disebut *chord* dan bagian cabang disebut dengan *brace*. Analisa terhadap struktur dalam hal ini adalah *tubular DT-Joint*. Proses perencanaan struktur bangunan lepas pantai merupakan proses yang harus mempertimbangkan banyak faktor. Salah satu faktor yang harus dipertimbangkan adalah proses penyambungan logam dengan sambungan las.

Salah satu tipe sambungan yang banyak digunakan dalam struktur lepas pantai adalah sambungan *tubular DT-Joint*. Dan dalam proses pengelasan sambungan *tubular joint* double T ini sumber panas yang berjalan terus dan menyebabkan perbedaan distribusi *temperature* pada logam sambungan, sehingga terjadi pemuaian dan penyusutan yang tidak merata lalu mengalami penurunan suhu secara bertahap. Sehingga tegangan sisa dan distorsi akan timbul pada logam yang dilas.

Tegangan sisa yang tinggi di daerah dekat las dapat menimbulkan *brittle fractures*, *fatigue*, atau *stress corrosion cracking*. Oleh karena itu, Tegangan sisa akibat pengelasan harus diminimalisasi agar tidak terjadi kegagalan struktur sesuai dengan persyaratan masing-masing. Pada beberapa kasus pengelasan ada beberapa cara untuk mengurangi tegangan sisa, diantaranya *preheating*, *heat treatment*, *hammering*, dan *welding sequencing*. Dari beberapa metode ini, pemilihan *welding sequence* lebih ringkas dan efisien untuk mengurangi tegangan sisa, karena banyak pengelasan struktur tidak dapat dilakukan *post-weld* dan memiliki tegangan sisa beberapa tingkat. sehingga, mengembangkan urutan pengelasan secara akurat dapat memprediksikan tegangan sisa untuk mendapatkan desain yang paling aman. Untuk itulah perlu dilakukan simulasi metode elemen hingga

(*finite element method*) pada tahap desain. Maka tegangan sisa dan deformasi yang terjadi dalam pengelasan dapat diminimalisasi.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana distribusi panas yang terjadi pada sambungan *tubular DT-Joint* setelah pengelasan dilakukan ?
2. Bagaimana tegangan sisa dan distorsi yang terjadi pada sambungan *tubular DT-Joint* setelah pengelasan ?
3. Bagaimana pengaruh urutan pengelasan (*welding sequence*) terhadap terbentuknya tegangan sisa dan distorsi ?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir adalah :

1. Mendapatkan distribusi panas pada sambungan *tubular DT-Joint*.
2. Mendapatkan tegangan sisa dan distorsi pada *tubular DT-Joint* yang ada dalam material lasan.
3. Mendapatkan urutan pengelasan (*welding sequence*) terbaik yang menghasilkan nilai tegangan sisa dan distorsi terkecil.

### **1.4 Manfaat**

Dalam peneilitian ini diharapkan dapat diketahui distribusi panas dan distorsi yang terjadi dan diketahui pula nilai tegangan sisa pada sambungan *tubular DT-Joint* akibat adanya pengelasan. Serta dalam penelitian ini diharapkan dapat mengetahui tipe urutan pengelasan terbaik dengan mengetahui nilai tegangan sisa dan distorsi terkecil.

### **1.5 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah jenis sambungan *tubular DT-Joint*.
2. *Tubular DT-Joint* menggunakan  $\theta$  (*intersection angle* antara *brace* dan *chord*) =  $90^\circ$

3. Pengaruh aliran panas secara radiatif diabaikan.
4. Spesifikasi material yang digunakan yaitu ASTM A36.
5. Prosedur pengelasan single pass.
6. Jenis pengelasan yang digunakan adalah FCAW (Flux Cored Arc Welding).
7. Variasi urutan pengelasan adalah menerus, simetris dan putus-putus.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dipaparkan latar belakang penelitian yang akan dilakukan, masalah yang akan diamati, tujuan yang akan dicapai, manfaat yang akan diperoleh, dan pemaparan batasan-batasan masalah dalam penelitian.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pada bab ini dipaparkan pedoman penulis pada dasar-dasar teori yang mendukung untuk menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini. Dasar teori yang digunakan antara lain : teori aliran panas pada material, konsep tegangan sisa dalam material *tubular DT-Joint* akibat pengelasan, konsep distorsi atau perubahan bentuk geometri, material setelah mengalami pengelasan, serta konsep penerapan teori yang telah disebut diatas terhadap prinsip-prinsip metode elemen hingga.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini, menjelaskan langkah-langkah simulasi yang akan dilakukan mengacu pada data yang telah diperoleh untuk mendapatkan hasil yang akan diinginkan sesuai metodologi yang telah dibuat.

### **BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini membahas tentang hasil dari pemodelan yang telah dilakukan, yaitu bagaimana distribusi panas pada pengelasan sambungan *Tubular DT-*

*Joint output* berupa distribusi temperature pada material, mengetahui bentuk distorsi maupun mengetahui nilai besarnya tegangan-tegangan yang terjadi.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memaparkan kesimpulan dari hasil akhir sesuai permasalahan yang telah didiskripsikan.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses tersebut suhunya berubah-ubah sehingga distribusi suhu tidak merata. Berdasarkan penelitian Firmandha (2007) panas yang bersumber dari busur las menghasilkan siklus panas yang kompleks dalam pengelasan, dan dalam hal ini menyebabkan perubahan mikrostruktur pada HAZ (*heat affected zone*) yang memicu tegangan panas sementara dan pergerakan metal yang akhirnya menghasilkan adanya tegangan sisa dan distorsi material.

Beberapa studi juga dilakukan untuk menganalisa tegangan sisa dan distorsi seperti Akbar dkk (2012), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pada Proses pengelasan menyebabkan pemanasan tinggi yang tidak merata pada bagian-bagian yang akan disambung tersebut, dimana area dari benda kerja yang dilas mengalami pemanasan hingga mencapai  $\pm 1600^{\circ}\text{C}$ , kemudian mengalami penurunan suhu secara bertahap. Pemanasan lokal dan laju pendinginan bertahap menyebabkan perubahan *volumetric* yang akhirnya menghasilkan penyebaran panas, deformasi dan tegangan sisa. Tegangan sisa adalah tegangan yang bekerja pada benda setelah semua beban *external* dan kondisi batas telah dihilangkan (Masubuchi, 1980).

Tegangan sisa yang tinggi di daerah dekat las dapat menimbulkan *brittle fractures*, *fatigue*, atau *stress corrosion cracking*. Sementara itu tegangan sisa pada pelat dapat mengurangi kekuatan tekuk pada struktur. Oleh karena itu, tegangan sisa akibat pengelasan harus diminimalisasi agar tidak terjadi kegagalan struktur (Teng dkk, 2003).

Dan menurut Yulianto (2009) pada pengelasan pipa urutan pengelasan (*welding sequence*) pipa mempengaruhi besarnya tegangan sisa dan deformasi. Dan cara untuk meminimalisir tegangan sisa akibat pengelasan dengan memilih urutan pengelasan yang sesuai adalah lebih mudah dan efisien untuk mendapatkan tegangan sisa dan distorsi paling kecil.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Thermal Las

Pada proses pengelasan, distribusi temperatur yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun pendinginan tidak merata pada seluruh material. Perubahan temperatur beban heat yang diberikan pada proses pengelasan menyebabkan peningkatan temperature material yang terkena busur api las. Perubahan temperature ini, berlangsung dengan cepat sehingga menciptakan perbedaan temperatur dengan daerah didekat daerah yang terkena busur api las. Oleh karena itu perbedaan temperature terjadi, dan panas yang diakibatkan busur api las mengalir ke daerah yang berdekatan dengan daerah las-lasan yang mempunyai temperatur lebih rendah.

Distribusi *temperature* yang terjadi pada saat proses pemanasan maupun proses pendinginan ini tidak merata pada material, hal ini terjadi baik dalam segi tempat maupun dalam segi waktu pendistribusian. Hal ini menyebabkan timbulnya deformasi pada material yang telah dilas. Oleh karena itu gunanya mengetahui bagaimana distribusi dari temeperatur yang dihasilkan terhadap material las. Pada proses pengelasan tidak semua energi digunakan untuk memanaskan elektroda dan logam las. Sebagian energi yang dihasilkan terserap ke lingkungan karena adanya kontak dengan udara lingkungan sekitar. Sehingga energi efektif yang digunakan dalam pengelasan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = \eta U I \quad (2.1)$$

Dimana :  $Q$  = *Net Heat Input/effectif thermal power* (W)

$\eta$  = koefisien efisien busur

$U$  = daya busur (V)

$I$  = arus busur (I)

Dengan harga koefisien efisisensi untul proses pengelasan dengan cara *Shielded Metal Arc Welding* adalah antara 0.66 sampai dengan 0.85 (Pilipenko, 2001). Dimana nilai koefisien efisiensi pengelasan untuk setiap jenis pengelasanya adalah berbeda, maka nilai koefisien efisiensi dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Koefisien efisiensi dari proses pengelasan.

Jenis Pengelasan	$\eta$
SAW – Steel	0,91 – 0,99
SMAW – Steel	0,66 – 0,85
GMAW – CO <sub>2</sub> ; Steel	0,75 – 0,93
GMAW – Ar ; Steel	0,66 – 0,77
GTAW – Ar ; Steel	0,25 – 0,75
GTAW – He ; Al	0,50 – 0,80
GTAW – Ar ; Al	0,22 – 0,46

Sedangkan energi panas yang terbentuk dari perubahan energi listrik tidak akan diserap secara keseluruhan oleh material lasa-lasan, sehingga energi busur las bersih dapat dihitung sebagai berikut :

$$H_{net} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{v} \quad (2.2)$$

Dimana : Hnet : Energi input bersih (J/mm)

E : Tegangan (Volt)

I : Arus listrik (Ampere)

f1 : Efisiensi pemindahan panas

v : Kecepatan pengelasan (mm/s)

### 2.2.2 Kondisi Awal dan Kondisi Batas

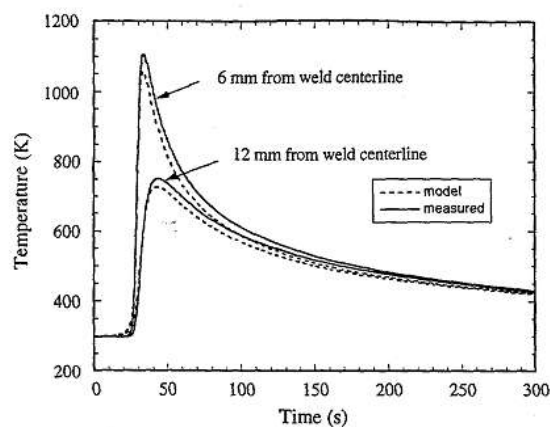
Kondisi awal pada proses peengelasan adalah distribusi temperature awal pada saat t=0 detik, sebagai fungsi dari letaknya,  $T(x,y,z,0) = T_0 = \text{konstan}$ . Sedangkan kondisi batas memiliki hubungan antara permukaan material las dengan lingkungan sekitarnya. Dalam masalah pengelasan ada tiga kondisi batas yang bisa digunakan, antara lain :

- Temperatur dari permukaan material
- Panas jenis yang didistribusikan pada permukaan material sebagai fungsi dari waktu.
- Panas jenis yang didistribusikan pada permukaan material sebagai fungsi dari letaknya dan temperature sekitarnya.

### 2.2.3 Siklus Termal Las

Siklus Termal Las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Pada saat proses pengelasan terdapat dua bagian yang memiliki perbedaan metalurgi mendasar yaitu logam las dan daerah HAZ (*heat affected zone*). Perbedaan ini terjadi karena adanya perbedaan siklus termal, proses terbentuknya dan komposisi kimianya.

Pada Gambar 2.1 dibawah dapat dilihat siklus thermal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap.



Gambar 2.1 Siklus termal las (J.J Dike 1998)

Jangka waktu yang dibutuhkan untuk proses pendinginan setelah pengelasan dalam suatu daerah dengan temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas dari sambungan las. Struktur mikro dan sifat mekanis dari daerah HAZ (*heat affected zone*) sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan.

#### 2.2.4 Distribusi Panas

Aliran panas atau perpindahan panas pada proses pengelasan sangat menentukan kualitas las karena aliran panas mempengaruhi struktur mikro, reaksi oksidasi / reduksi, tegangan sisa dan distorsi. Perpindahan panas pada las terjadi secara konduksi, dan konveksi sedangkan radiasi diabaikan. Proses konduksi, logam yang menerima panas secara langsung antara logam dengan elektroda dan perpindahan panas tersebut tidak diikuti zat perantara. Sedangkan, konveksi adalah proses pemindahan panas disertai zat perantar, dan konveksi dapat terjadi karena permukaan yang terkena langsung dengan udara.

Dibandingkan dengan material lain, hampir semua logam adalah konduktor panas yang baik. Namun, semua logam memiliki kemampuan untuk menghantarkan panas yang berbeda-beda. Misalnya aluminium memiliki kemampuan menghantarkan panas lebih baik dibandingkan dengan *stainles steel*.

Distribusi panas pada proses pengelasan pada setiap material tidak sama. Distribusi panas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- Sifat konduktifitas ( sifat mampu menghantar panas ) dari material kerja.
- Besarnya massa dari logam yang berada di sekeliling daerah las
- Alur yang tersedia untuk proses konduksi panas
- Teknik pengelasan yang dilakukan.

Persamaan dasar konduksi panas adalah sebagai berikut :

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = Q_G + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] \quad (2.3)$$

Dimana:

- $\rho$  : massa jenis ( $\text{Kg/m}^3$ )
- $c$  : *specific heat* ( $\text{J/Kg.k}$ )
- $\lambda$  : konduktivitas termal ( $\text{W/m.K}$ )
- $Q_G$  : debit perubahan temperatur ( $\text{W/m}^3$ )

Heat *flux* selama proses pemanasan dapat dihitung menggunakan hubungan vektor *heat flux* dan *thermal gradient*.

$$\{q\} = -[D] \cdot \{L\} \cdot T \quad (2.4)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Dimana:

$[D]$  : Matriks konduktivitas (-)

$K_{xx}$  : Konduktivitas arah x (W/mm.K)

$K_{yy}$  : Konduktivitas arah y (W/mm.K)

$K_{zz}$  : Konduktivitas arah z (W/mm.K)

Sedangkan didapatkan besarnya nilai *heat flux* yang dikenakan pada material ditentukan dengan rumus :

$$q_1 = q_e \frac{A_1}{A_f} \quad (2.6)$$

$$q_1 = \frac{Q}{A_e} \quad (2.7)$$

Dimana :  $q_1$  : heat flux pada elemen (J/mm<sup>2</sup>)

$q_e$  : heat flux yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)

$A_1$  = luas area elemen yang dikenai beban heat input (mm<sup>2</sup>)

$A_f$  = luas area pembebanan yang dihasilkan dari proses pengelasan (mm<sup>2</sup>)

$A_e$  = Luas area elektroda yang digunakan

Sedangkan nilai  $A_f$  ( luas area pembebanan ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_f = b \times v \times t \quad (2.8)$$

Dimana :  $b$  = lebar satu elemen (mm)

$v$  = kecepatan pengelasan (mm/s)

$t$  = waktu pengelasan (s)

## 2.2.5 Tegangan Sisa

### 2.2.5.1 Terjadinya Tegangan Sisa

Tegangan yang muncul selama proses pengelasan biasa disebut sebagai tegangan dalam atau tegangan yang terjebak dalam material. Tegangan dalam adalah tegangan yang bekerja pada material meskipun tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda tersebut. Pada saat proses pengelasan, bagian material yang di las menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan thermal. Sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang mengakibatkan terjadinya peregangan yang rumit. Kalau tidak dihindari, peregangan ini akan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tetap yang disebabkan adanya perubahan besaran mekanik. Di samping terjadi perubahan bentuk yang dengan sendirinya terjadi regangan, maka terjadi juga tegangan yang sifatnya tetap yang disebut tegangan sisa.

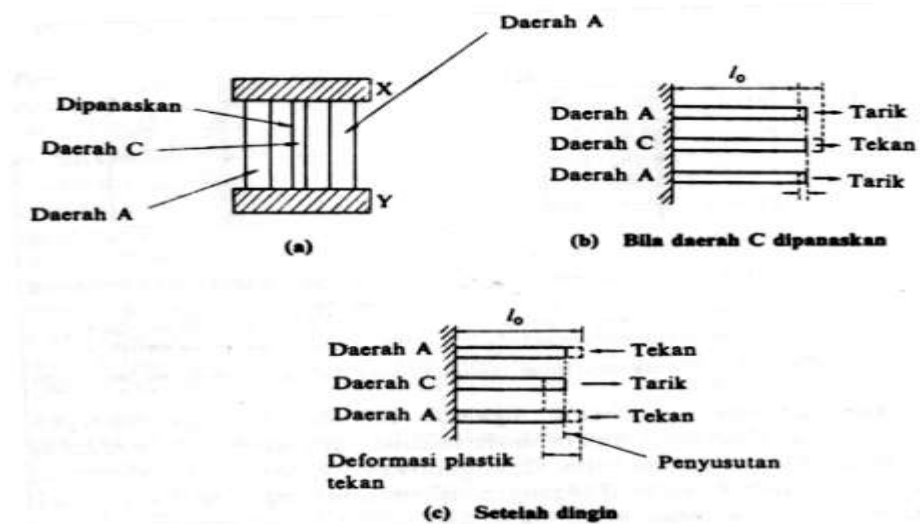
Tegangan sisa selalu muncul apabila sebuah material dikenai perubahan temperatur non-uniform, tegangan-tegangan ini disebut tegangan panas. Untuk membahas masalah pengelasan, tegangan sisa yang akan ditinjau adalah tegangan sisa yang ditimbulkan dari distribusi regangan non-elastik yang tidak merata pada material. Tegangan sisa pada material logam dapat terjadi karena banyak hal selama proses produksi, seperti :

- Material termasuk bentuk pelat dan batangan dikenal proses *roll, casting, forging*.
- Selama pembentukan bagian-bagian metaloleh proses-proses seperti *bending, grinding, shearing, dan machining*.
- Selama proses fabrikasi, seperti pengelasan (Masubuchi, 1980)

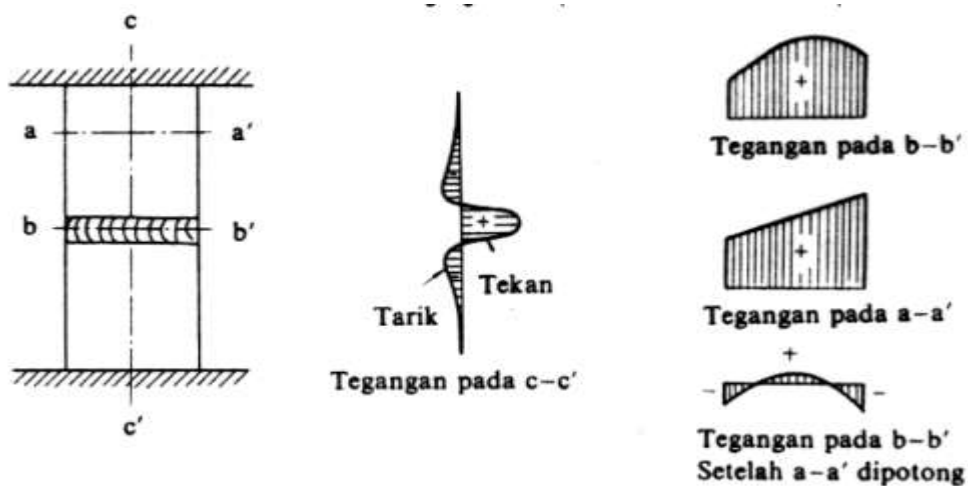
Selain itu terdapat banyak faktor yang mempengaruhi pembentukan tegangan sisa antara lain :

- Batas transformasi dan batas luluh beban.
- Temperatur pemanasan tertinggi.
- Kecepatan pendinginan.
- Tahanan luar dan pemanasan awal.

Ketika material dipanasi secara merata, akan terjadi tegangan. Tegangan sisa juga akan terjadi ketika regangan yang didistribusikan tidak merata seperti regangan plastis. Dan dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 skema pembentukan tegangan sisa :



Gambar 2.2 Pembentukan Tegangan Sisa (Wiryosumarto, 2000 )



Gambar 2.3 Tegangan Sisa karena Penahan Luar pada Las (Wiryosumarto, 2000 )

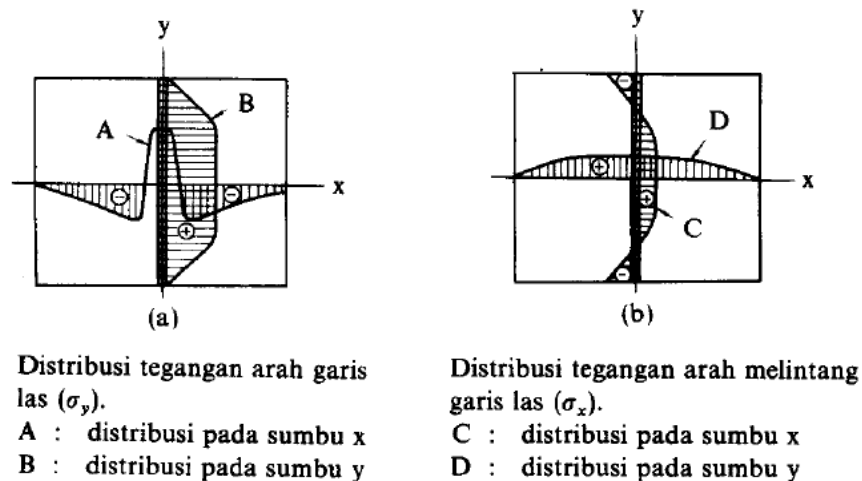
Pada Gambar 2.2 dapat dijelaskan bagaimana terjadinya tegangan sisa, dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangannya pada daerah C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan



tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik. Tetapi bila pada luas daerah A jauh lebih besar dari luas daerah C, maka daerah C akan mengalami perubahan bentuk tetap atau distorsi. Sedangkan pada daerah A terjadi perubahan bentuk elastis. Ketika proses pengelasan selesai, terjadi proses pendinginan dimana daerah C menyusut cukup besar karena disamping pendinginan juga karena tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A, oleh karena itu daerah C mengalami tarik yang diimbangi oleh tegangan tekan pada daerah A.

#### 2.2.5.2 Distribusi Tegangan Sisa

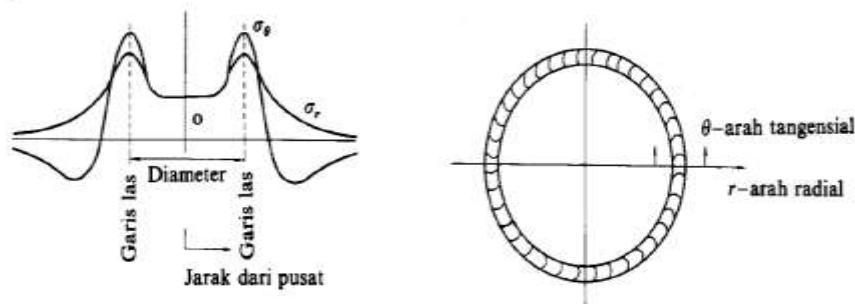
Distribusi tegangan sisa tergantung pada jenis dan bentuk las-lasan. Dalam hal as tumpul pada garis las dengan arah memanjang akan mencapai batas kekuatan luluh pada garis las dan kemudian menurun dan mencapai nol pada ujung pelat. Sedangkan pada arah melintang garis las terjadi keseimbangan antara tegangan tarik dan tekan seperti pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



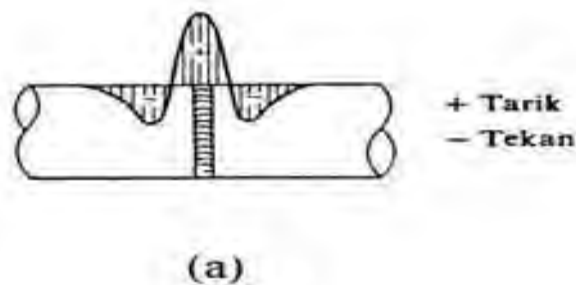
Gambar 2.4 Skema distribusi tegangan sisa dalam sambungan las tumpul (Wiryosumarto, 2000 )

Untuk sambungan las bentuk lingkaran, distribusi dalam arah sudut selalu simetris terhadap satu garis yang melalui pusat lingkaran dan sifat tegangannya baik pada arah sudut ataupun radial selalu tarik. Distribusi tegangan bentuk lingkaran pada pipa hampir sama dengan seperti pada lasan plat datar. Las melingkar pada pipa akan menimbulkan tegangan tarik arah memanjang di

sekitar garis las dan tegangan tekan pada arah yang sedikit lebih jauh lagi dari garis las serta seimbang antara satu dengan lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2.5 Skema distribusi tegangan sisa pada las berbentuk lingkaran (Wirjosumarto, 2000 )



Gambar 2.6 Skema distribusi tegangan sisa pad alas melingkar pada pipa (Wirjosumarto, 2000 )

### 2.2.5.3 Pengaruh Tegangan Sisa

#### a. Pengaruh Kekuatan Sisa Terhadap Kekuatan Statik

Tegangan sisa dapat dikatakan tidak mempunyai pengaruh yang terlalu besar terhadap kekuatan statik logam, selama logam induk dan logam las mempunyai kekuatan yang sangat tinggi.

Hal ini dijelaskan sebagai berikut, pada pengelasan baja lunak, kekuatan luluh dan tarik logam pada daerah las lebih tinggi daripada logam induk, tetapi perpanjangan lebih rendah. Kekuatannya luluh secara keseluruhan menjadi lebih tinggi, maka tegangan sisa tidak mempengaruhi kekuatan luluh dari sambungan secara keseluruhan.

#### b. Pengaruh Tegangan Sisa Pada Patah Getas

Tegangan sisa berpengaruh jelek pada patah getas dari sambungan las. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menarik batang uji bertakik ke arah lasan pada beberapa suhu yang berlainan. Bila dalam sambungan tidak ada tegangan sisa maka tegangan patah getas akan naik dengan diturunkannya suhu pengujian. Tetapi bila terdapat tegangan sisa, tegangan patah getasnya akan menurun dengan cepat pada suatu suhu tertentu.

#### c. Pengaruh Tegangan Sisa Pada Kekakuan Tekuk

Pada umumnya tegangan sisa mempengaruhi tegangan tekuk dari suatu konstruksi. Bila suatu konstruksi panel mempunyai banyak garis las maka pada tengah panel akan memiliki tegangan sisa yang bersifat tekan. Dalam hal ini kadang-kadang konstruksi dapat tertekuk sendiri karena adanya tegangan sisa yang besar.

#### d. Pengaruh Tegangan Sisa Terhadap Sifat Lainnya

Kekuatan fisik dari sambungan menjadi turun bila ada tegangan sisa tarik yang searah beban, tetapi menjadi naik bila terdapat tegangan sisa tekan. Bila sambungan yang mengandung tegangan sisa mengalami proses permesinan, maka keseimbangan dari tegangan akan terganggu dan akibatnya adalah perubahan bentuk plastis.

#### **2.2.5.4 Perhitungan Tegangan Sisa**

Tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya regangan sisa yang terjadi dengan menggunakan hukum Hooke. Sedangkan besarnya regangan sisa dapat diukur dari perubahan ukuran antara batang sebelum dipotong, yaitu ukuran yang digambarkan pada bagian yang akan diuji potong. Dari hukum Hooke jelas bahwa perubahan ukuran ini disebabkan oleh adanya tegangan, karena itu besarnya tegangan dapat dihitung. Dalam hal tegangan satu arah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad (2.9)$$

Dimana :

$\sigma$  = tegangan sisa yang terjadi

$E$  = modulus elastic

$l$  = panjang sebelum dipotong

$\Delta l$  = perubahan panjang sebelum dan sesudah dipotong

Dalam hal terjadi tegangan sisa dengan dua dimensi dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_x = E/(1-\nu^2) (\epsilon_x + \nu\epsilon_y) \quad (2.10)$$

$$\sigma_y = E/(1-\nu^2) (\epsilon_y + \nu\epsilon_x) \quad (2.11)$$

dimana :

$\sigma_x$  = tegangan tegak lurus garis las

$\sigma_y$  = tegangna searah garis las

$\epsilon_x$  = regangan tegak lurus garis las

$\epsilon_y$  = regangan searah garis las

$\nu$  = angka perbandingan Poisson.

Tegangan sisa dapat diukur dengan cara numerikal dan eksperimental. Untuk cara eksperimental dapat dilakukan dengan teknik pengukuran destruktif dan non-destruktif. Beberapa metode pengukuran tegangan sisa dengan teknik destruktif yaitu:

- Metode *Hole-drilling*
- Metode *Ring-core*
- Metode *Bending deflection*
- Metode *Sectioning*

Sedangkan untuk teknik non-destruktif dilakukan tanpa merusak sample. Cara ini dinilai lebih akurat karena menggunakan bantuan teknologi terkini. Beberapa metode umum yang digunakan untuk metode pengukuran non-destruktif, yaitu:

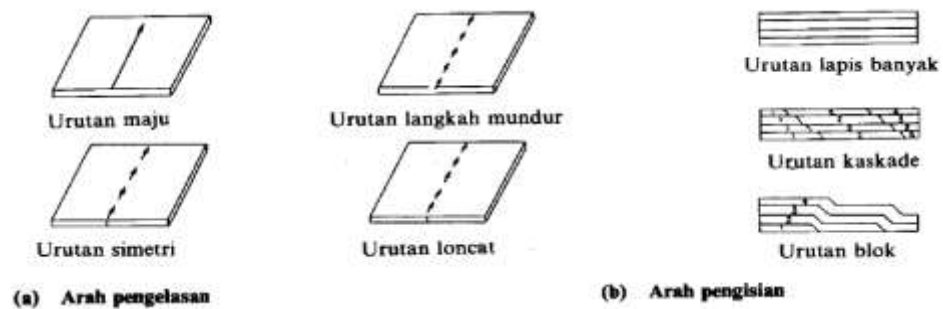
- *X-ray/ neutron/ diffraction*
- *Ultrasonic*
- *Magnetic method.*

### 2.2.5.5 Pengurangan dan Pembebasan Tegangan Sisa

#### a. Pengurangan Tegangan Sisa

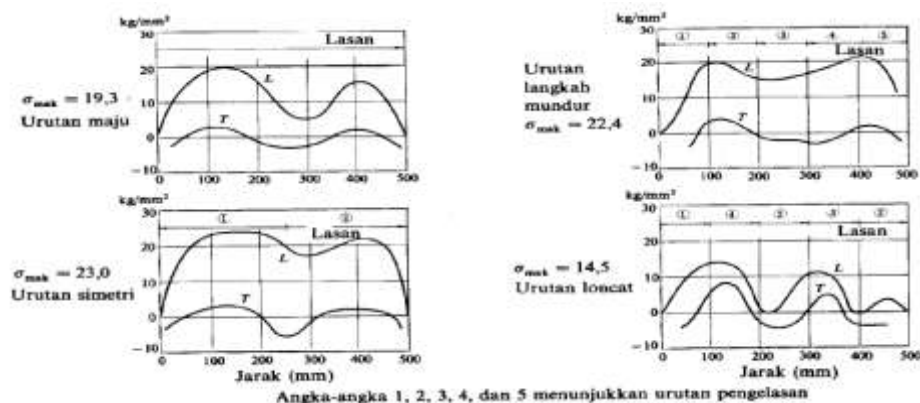
Dalam kasus pengelasan tegangan sisa terjadi karena adanya penyusutan pada waktu pendinginan setelah proses pengelasan. Besar dari tegangan sisa yang terjadi akibat adanya pengelasan ini dapat idkurangi dengan cara mengurangi besarnya masukan panas dan banyaknya logam lasan yang dilakukan dengan memperkecil sudut alur dari kampuh dan juga memperkecil celah akar pad alas tumpul. Dalam hal ini, terutama las sudut dapat memperkecil panjang kaki las dan penguat.

Karena penghalang luar juga menyebabkan terjadinya tegangan sia, maka perlu dihindari terjadinya dengan menentukan *welding sequence*. Berikut Gambar 2.7 yang merupakan contoh skema urutan pengelasan yang baik :

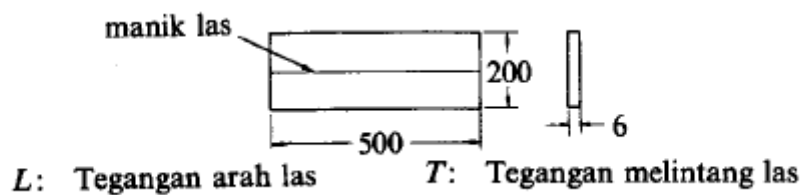


Gambar 2.7 Urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

Dan contoh selanjutnya pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 adalah skema mengenai hubungan antara urutan pengelasan dan tegangan sisa :



Gambar 2.8 Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000)



Gambar 2.9 Tegangan sisa pada beberapa urutan pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

#### b. Pembebasan Tegangan Sisa

Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara termal dan cara mekanik. Dari kedua cara tersebut yang paling banyak dilakukan adalah cara termal dalam proses anil. Proses annealing adalah proses pemanasan kembali material yang telah dilas sampai pada temperatur tertentu.

### 2.2.6 Distorsi Pada Struktur Las

#### 2.2.6.1 Teori Distorsi

Tegangan sisa dan distorsi dalam pengelasan merupakan fenomena yang berkaitan erat. Selama siklus pemanasan dan pendinginan yang terjadi dalam pengelasan, selama itulah regangan panas muncul diantara logam las dan logam induk pada zona dekat jalur las. Peregangannya material ini juga menimbulkan tegangan-tegangan dalam yang ada di dalam material yang dapat menimbulkan terjadinya *bending*, *buckling*, dan rotasi. Perubahan inilah yang disebut distorsi.

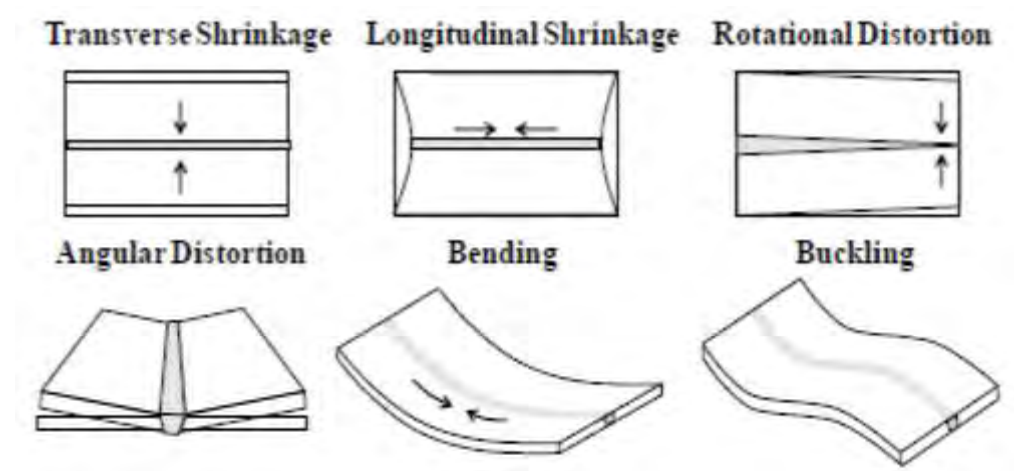
Berikut adalah penjelasandasar mengenai bagaimana terjadinya mekanisme berbagai macam distorsi, factor apa saja yang berperan, bagaimana menganalisa efek-efek yang terjadi. Berikut terdapat tiga perubahan bentuk dasar terjadinya distorsi dalam fabrikasi struktur :

- Distorsi angular ( rotasional terhadap jalur las)
- Penyusutan melintang tegak lurus terhadap arah pengelasan
- Penyusutan memanjang sejajar arah pengelasan

Macam-macam distorsi yang terjadi pada pengelasan :

- a. *Longitudinal shrinkage*, merupakan penyusutan material yang searah atau sejajar dengan garis las.
- b. *Rotational distortion*, yaitu distorsi sudut dalam bidang pelat yang berkaitan dengan perluasan bidang panas.
- c. *Transverse shrinkage*, yaitu penyusutan tegak lurus terhadap garis las.
- d. *Buckling distortion*, merupakan fenomena yang berkaitan dengan kompresi yang berkenaan dengan panas dan menyebabkan ketidakstabilan ketika pelatnya tipis.
- e. *Angular change/Angular shrinkage*, yaitu karena adanya distribusi panas yang tidak merata pada kedalaman material sehingga menyebabkan terjadinya distorsi (perubahan sudut).
- f. *Longitudinal bending distortion*, yaitu distorsi dalam bidang yang melalui garis las dan tegak lurus terhadap pelat.

Macam-macam skema bentuk distorsi dijelaskan pada Gambar 2.10 sebagai berikut :



Gambar 2.10 Macam-macam distorsi dalam pengelasan (Masubuchi, 1980)

Cara-cara yang dapat ditempuh untuk meminimalisasi terjadinya distorsi diatas adalah lebih mudah daripada harus menghilangkan distorsi setelah pengelasan selesai dilakukan. Sedangkan faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelasan agar distorsi dapat dihindari adalah :

- a. Jumlah *welding pass*, semakin banyak jumlah weld pass yang digunakan akan meningkatkan resiko terjadinya deformasi.
- b. *Welding sequence*, yaitu melakukan proses pengelasan dengan urutan tertentu untuk meminimalkan masukan panas pada material. Teknik ini sangat disarankan untuk dilakukan pada proses pengelasan yang panjang ( *Long weld*).
- c. Derajat pengekangan ( *level of restraint*), yaitu dengan menentukan seberapa besar tahanan untuk mempertahankan material tetap pada posisinya ( *ballasting*, atau dengan berat sendiri). Penggunaan penahan atau tanggem akan meminimalkan pergerakan atau pergeseran material saat proses pengelasan. Namun, pada saat penahan dilepas akan terjadi perubahan deformasi yang relatif kecil karena akibat tegangan sisa.
- d. Kondisi pengelasan, yaitu dengan memperhatikan suhu pengelasan atau *interpass* serta keadaan lingkungan.
- e. Detail sambungan, dimana bentuk geometri sambungan las dan jenis sambungan yang dapat mempengaruhi bentuk distorsi yang terjadi.

#### **2.2.6.2 Metodologi Analisa Distorsi**

Hingga saat ini, pendekatan yang dilakukan untuk menganalisa distorsi menggunakan simulasi analisis. Simulasi analitis memungkinkan kita untuk tidak hanya mempelajari kinetika distorsi setelah pengelasan, tetapi juga pergerakan *metal transient* dengan baik. Metode simulasi ini memerlukan solusi-solusi numeris yang cukup banyak dan membutuhkan bantuan computer untuk menyelesaikannya. Simulasi analitis sangat cocok untuk digunakan untuk menganalisa pengelasan yang bersifat *transient*. Sedangkan untuk menganalisa distorsi setelah pengelasan terjadi, analisisnya menggunakan kalkulasi matematis sederhana yang memperlakukan distorsi sebagai bentuk tegangan elastic yang mengandung regangan-regangan dalam yang tak tentu.

#### **2.2.7 Urutan Pengelasan**

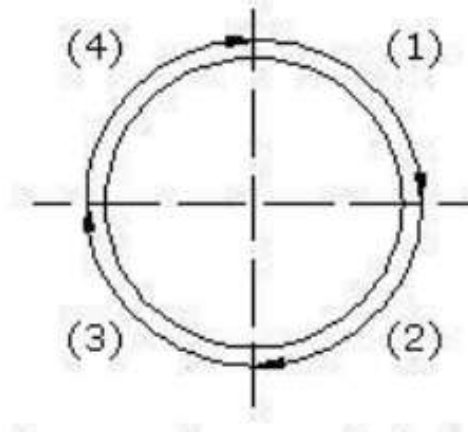
Akibat perlakuan panas pengelasan pada material menyebabkan penyusutan memanjang, penyusutan melintang serta angular distorsi, sehingga pengurangan penyusutan perlu diusahakan dengan cara mengikuti prosedur



urutan pengelasan secara umum. Dari urutan pengelasan dapat diuraikan maksud dan tujuan dari setiap metode, yaitu sebagai berikut :

1. Metode urutan pengelasan maju atau menerus

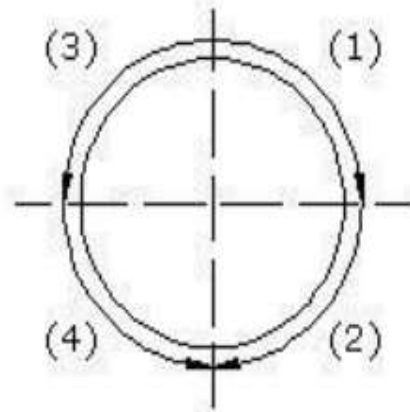
Metode ini adalah metode paling efisien dan mudah dikerjakan. Dalam pelaksanaannya pengelasan diasumsikan tanpa halangan yang berarti dan dapat dilakukan secara melingkar tanpa berhenti di suatu tempat tertentu. Urutan pengelasan ini memberikan efisiensi pengerjaan yang tinggi tetapi menyebabkan terjadinya tegangan sisa yang tidak simetri. Maka dapat kita lihat skema urutan pengelasan pada Gambar 2.12 sebagai berikut :



Gambar 2.12 Urutan pengelasan maju atau menerus ( Totok, 2009).

2. Metode urutan pengelasan simetris

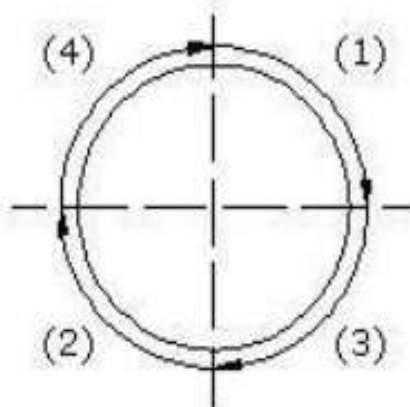
Metode ini dipakai pada struktur yang membutuhkan akurasi akhir dimensinya untuk mengurangi distorsi yang dihasilkan dari proses pengelasan. Pada metode ini letak titik pengawalanya harus tepat dan harus terpisah dari bagian akhir sebelumnya karena bila tidak meningkatkan penumpukan titik-titik pengelasan dan menimbulkan kerusakan pada alas-lasan. Dapat kita lihat skema urutan pengelasan pada Gambar 2.13 yaitu :



Gambar 2.13 Urutan pengelasan simetris ( Totok, 2009).

### 3. Metode urutan pengelasan loncat / putus-putus

Metode ini digunakan pengelasan secara berselang pada seluruh panjang sambungan las, sehingga terjadi residual perubahan bentuk dan tegangan sisa yang merata, sehingga metode ini tidak efisien dan banyak menimbulkan cacat las pada tiap awal dan akhir las-lasan. Berikut skema pengelasan pada Gambar 2.14 yaitu :



Gambar 2.14 Urutan pengelasan loncat / putus-putus ( Totok, 2009).

## 2.2.8 Metode Elemen Hingga

### 5.2.8.1 Teori Metode Elemen Hingga

Metode elemen hinge (*Fenite Element*) ini merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam bidang rekayasa seperti geometri, pembebanan dan sifat-sifat material yang sangat rumit. Hal ini sulit

diselesaikan dengan solusi analisa matematis. Pendekatan metode elemen hingga (*Fenite Element*) adalah menggunakan informasi-informasi pada titik simpul atau node. Dalam proses penentuan node yang disebut dengan pendeskritan, suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh.

Aplikasi metode elemen hingga sebagai salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai masalah rekayasa dan untuk memudahkan penerapan konsep metode elemen hingga dapat dilakukan pemodelan dengan software seperti ABAQUS, ANSYS, SAAP, dan CATIA.

Pada pengerjaan penelitian ini menggunakan software ANSYS 16.0 untuk analisisnya. Elemen dalam ANSYS dapat dikategorikan menjadi 2D dan 3D yang terdiri dari elemen titik, elemen garis, elemen area dan elemen volume. Dan elemen-elemen ini dapat dikombinasikan sesuai kebutuhan.

Pada penggunaanya secara umum, software metode elemen hingga mempunyai 3 tahapan utama, yaitu :

*a. Preprocessing*

Pada tahap ini pengguna menggunakan model yang menjadi bagian untuk dianalisis yang mana geometri tersebut dibagi-bagi menjadi beberapa sub bagian yang terdiskritasi atau disebut 'elemen', dihubungkan pada titik diskritasi yang disebut 'node'. Node tertentu akan ditetapkan sebagai bagian melekat yang kaku (*fix displacement*) dan bagian lain ditentukan sebagai bagian kena beban atau load.

*b. Analysis*

Pada tahap ini data-data yang dimasukkan pada tahap preprocessing sebelumnya akan digunakan sebagai input pada code elemen hingga untuk membangun dan menyelesaikan system persamaan aljabar liner atau non-linear

$$k.(x) = F \quad (2.12)$$

dimana x dan F merupakan displacement dan gaya luar yang diberikan pada suatu titik. Informasi matriks K tergantung pada tipe persoalan yang sedang

terjadi, dan modul akan mengarah pada pendekatan analisis truss dan tegangan linier elastis. Software yang berbayar sudah memiliki kemampuan yang lebih bagus dan mampu menyelesaikan banyak tipe persoalan.

*c. Post-processing*

Pada tahap ini menampilkan hasil akhir setelah penganalisisan oleh modul penganalisa dengan menampilkan data displacement dan tegangan pada posisi bagian yang terdiskritisasi pada mode I geometri. Post-processor biasanya menampilkan grafis dengan kontur warna yang menggambarkan tingkatan tegangan yang terjadi pada model geometri.

Sedangkan dalam perumusan metode elemen hingga yang akan digunakan untuk menganalisa pada penelitian ini, terdapat tujuh tahap yang digunakan, yaitu :

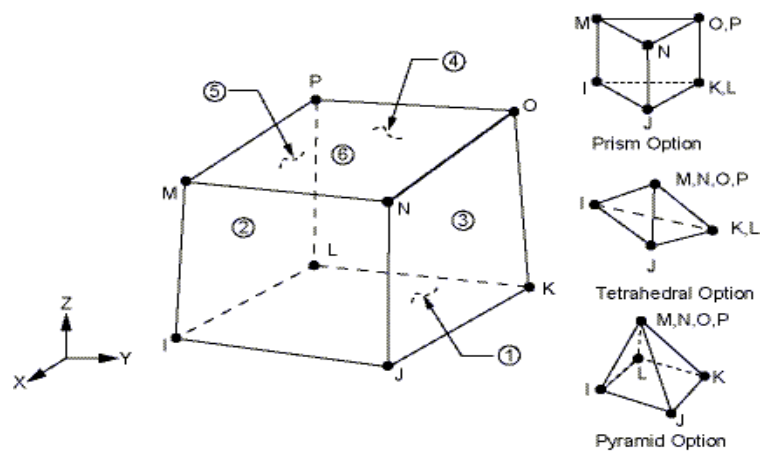
1. Pendiskritan dan Pemilihan Jenis Elemen

Pada tahap ini, pemilihan jenis elemen menjadi tahap yang penting karena dapat menentukan keakuratan hasil analisa. Jenis elemen harus dipilih sesuai analisa agar dapat menghasilkan hasil analisa yang mendekati keadaan sebenarnya. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati keadaan sebenarnya maka pada saat pendiskritan yang mana dalam pemodelan disebut dengan proses *meshing* ukuran *meshing* harus dapat mewakili kondisi struktur yang sebenarnya. Semakin kecil ukuran *meshing* akan membutuhkan kapasitas hardisk dan memori yang cukup besar.

Selain itu *meshing* untuk ukuran elemen kecil biasanya digunakan untuk analisa dengan kondisi yang mengalami perubahan drastis. Sedangkan untuk *meshing* ukuran elemen besar digunakan untuk analisa yang perubahannya cenderung konstan. Banyak jenis elemen yang telah disediakan dalam *software* ANSYS 16.0 yang mampu mengakomodasi berbagai macam kebutuhan analisa.

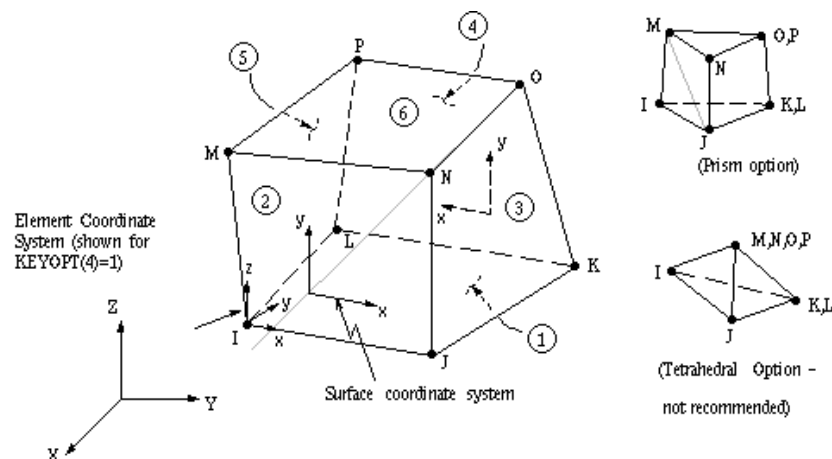
Salah satu jenis elemen yang dapat dipakai untuk analisa termal sekaligus mampu mengakomodasi pemindahan hasil dari solusi termal menjadi *initial load* pada solusi termal adalah SOLID70. Elemen SOLID 70 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki satu derajat kebebasan dan temperatur. Elemen ini memiliki kemampuan menghantarkan panas sehingga dapat digunakan

untuk analisa termal *transient* dan *steady-state*. Elemen SOLID70 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma, tetrahedral, dan juga piramida. Elemen ini didefinisikan dengan delapan node dan ortotropik material propertis. Untuk analisa *steady-state* specific heat dan massa jenis dapat diabaikan. Elemen yang memiliki kemampuan menghantarkan panas ini otomatis dapat juga digunakan untuk analisa struktural. Ketika proses analisa termal menggunakan SOLID70 sudah selesai dilakukan, otomatis pada proses analisa struktural jenis elemen akan berubah menjadi SOLID45. Berikut pada Gambar 2.15 adalah geometri dari elemen SOLID70 :



Gambar 2.15 Geometri Elemen SOLID70 (ANSYS 16.0 Element References)

Jenis elemen yang digunakan pada analisa struktural adalah SOLID45. Elemen SOLID 45 memiliki delapan node dengan masing-masing node memiliki tiga derajat kebebasan. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x dan y. Elemen ini memiliki kemampuan berdefleksi dan meregang secara besar karena memiliki sifat plastis. Pada Gambar 2.16 adalah geometri elemen SOLID45 :



Gambar 2.16 Geometri Elemen SOLID45 ((ANSYS 16.0 Element References)

## 2. Pemilihan Fungsi Displasmen

Menentukan fungsi displasmen yang didefinisikan pada tiap elemen dengan menggunakan nilai parameter di setiap simpul atau *node* elemen. Fungsi yang dipakai berupa polinomial, linear kuadrat, kubik, atau deret trigonometri.

$$\{w\} = [N]\{u\} \quad (2.13)$$

## 3. Definisi Hubungan Regangan-Displasmen Dan Tegangan-Regangan

Hubungan antara regangan-displasmen dan antara tegangan-regangan akan digunakan dalam proses penurunan persamaan untuk masing-masing elemen.

$$\sigma = D \varepsilon^{el} \quad (2.14)$$

Dan

$$\varepsilon = \varepsilon^{el} + \varepsilon^{th} \quad (2.15)$$

Dimana :

$\varepsilon$  : regangan total

$D$  : kekakuan material

$\varepsilon^{el}$  : regangan elastis

$\varepsilon^{th}$  : regangan termal

*Vector thermal strain* untuk *isotropik medium* dengan suhu yang tergantung pada koefisien ekspansi termal, dengan rumus:

$$\varepsilon^{th} = \Delta T \alpha(T) \quad (2.16)$$

Dimana  $\Delta T$  adalah perbedaan antara temperatur referensi dengan temperatur aktual.

## 4. Penentuan Matriks Kekakuan Elemen Dan Persamaan Elemen

Metode yang sering digunakan dalam penurunan matriks kekakuan elemen dan persamaan elemen dapat digunakan metode keseimbangan langsung dan metode energi dengan menggunakan prinsip energi potensial minimum. Pada analisa termal pengelasan, matrik kekakuan elemen yang digunakan didasarkan pada hukum Fourier sebagai berikut,

$$\frac{kA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} \text{ or } \mathbf{k}^{(e)} \boldsymbol{\theta}^{(e)} = \mathbf{q}^{(e)} \quad (2.17)$$

Dimana :

$\theta$  = vektor termal

$k$  = karakteristik matrik elemen

$q$  = vektor elemen gaya

#### 5. Penggabungan Persamaan Elemen Dengan Penentuan Kondisi Batas

Pada tahap ini persamaan elemen pada tahap empat digabungkan menggunakan metode kekakuan langsung untuk mendapatkan persamaan global keseluruhan struktur. Matriks kekakuan global ini berupa matrik singular seperti pada rumus 2.18, sehingga untuk menghindari masalah singularitasnya harus ditentukan kondisi batasnya.

$$[K][\theta] = [Q] \quad (2.18)$$

Dimana :

$[K]$  = Kekakuan Global

$[\theta]$  = Global Termal

$[Q]$  = *Global Force*

#### 6. Penyelesaian Derajat Kebebasan Yang Belum Diketahui

Untuk mendapatkan hasil besaran yang diperlukan, tidak didapat secara langsung dari tahap sebelumnya. Dapat dicari dengan metode eliminasi (misalkan metode *gauss*) dan iterasi (misalkan metode *gauss-siedel*).

#### 7. Penentuan Regangan Dan Tegangan Elemen

Besaran yang didapatkna pada tahap enam digunakan untuk menentukan perhitungan regangan dan tegangan yang terjadi pada elemen.

#### 8. Penampilan Hasil

Hasil yang diperoleh dapat ditampilkan dalam bentuk grafis oleh program computer *post processor* sehingga akan mempermudah pembacaan hasil yang didapatkan.

### 5.2.8.2 Transfer Panas Pengelasan

Analisa termal merupakan dasar dalam memodelkan pengelasan. Simulasi pengelasan dimodelkan dalam bentuk pergerakan sumber panas, dimana pergerakan sumber panas tersebut dapat dimodelkan kedalam bentuk area  $q''$  ( $J/s.m^2$ ) yang diaplikasikan pada permukaan struktur. Selain itu pemodelan sumber panas juga dapat diaplikasikan kedalam bentuk volume  $q'''$  ( $J/s.m^3$ ) yang diaplikasikan pada permukaan struktur. Berikut adalah parameter yang diperhatikan dalam proses pengelasan :

#### 1. Konduktivitas

Konduktivitas termal material dalam bentuk aliran transport energi termal telah disimulasikan oleh Incropera dan DeWitt. Perbedaan temperature dengan nilai konduktifitas yang tinggi akan menambah jumlah *heat flux* untuk setiap penambahan unit waktu. Jika sumber panas hanya ditransformasikan dalam arah sumbu-x sehingga harga konduktivitas yang digunakan dapat menggunakan persamaan Fourier Law sebagai berikut :

$$q_x = -K_{xx} \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.19)$$

Dimana :

$q_x$  = konduksi panas sumbu-x di dalam kontrol volume ( $kW/m^2$ )

$K_{xx}$  = Konduktivitas Termal pada arah sumbu x ( $kW/m^{\circ}C$ )

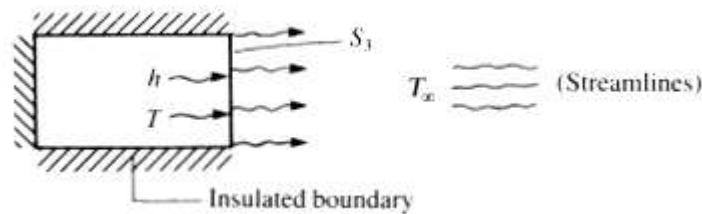
$T$  = Temperatur ( $^{\circ}C$ )

Pada jenis material isothropic harga konduktifitas termal pada sumbu y dan z adalah sama.

#### 2. Konveksi

Seperti konduksi, konveksi timbul akibat dari perbedaan suhu pada solid base metal dengan fluida pada weld metal menyebabkan terjadinya transfer energi dari daerah dengan suhu tinggi ke daerah dengan suhu rendah. Ilustrasi terjadinya konveksi dapat dilihat pada Gambar 2.17 sebagai berikut,





Gambar 2.17 Skema konveksi

Persamaan heat transfer secara konveksi diperoleh dari persamaan hukum pendinginan Newton,

$$q_h = h (T - T_\infty) \quad (2.20)$$

Dimana :

$q_h$  = aliran panas secara konveksi ( $kW/m^2$ )

$h$  = koefisien konveksi ( $kW/m^2\text{ }^\circ\text{C}$ )

$T$  = Temperatur pada permukaan solid ( $^\circ\text{C}$ )

$T_\infty$  = Temperatur fluida pengelasan ( $^\circ\text{C}$ )

### 2.2.8.3 Analisa Thermal Pada Aliran Panas Pengelasan

Logan (1994) menurunkan persamaan aliran panas secara konduksi pada aliran 1-dimensi dengan menggunakan persamaan energi konservatif,

$$E_{in} + E_{generated} = \Delta U + E_{out} \quad (2.21)$$

$$q_x A dt + Q A dx dt = c(\rho A dx) dT + q_{x+dx} A dt + q_h P dx dt \quad (2.22)$$

Dimana :

$q_x$  = aliran konduksi panas pada sumbu x ( $kW/m^2$ )

$A$  = Luasan yang terkena aliran panas ( $m^2$ )

$Q$  = sumber energi panas ( $kW/m^3$ )

$c$  = specific heat ( $kWh/kg^\circ\text{C}$ )

$q_{x+dx}$  = aliran panas pada permukaan boundary

$q_h$  = aliran konveksi panas ( $kW/m^2$ )

$P$  = keliling permukaan A (m)

Dengan demikian, didapatkan persamaan aliran panas (heat transfer) untuk 1-dimensi dimana adanya konduksi dan konveksi adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{hP}{A} (T - T_{\infty}) \quad (2.23)$$

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pilipenko (2001) persamaan aliran panas untuk model 3-dimensi (tri-dimensional) dirumuskan dengan sebagai fungsi aliran temperatur untuk 3-dimensi pada sumbu x,y, dan z sehingga menjadi,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{hP}{A} (T - T_{\infty}) \quad (2.24)$$

#### 2.2.8.4 Analisa Struktural Pada Pengukuran Tegangan Sisa

Besarnya tegangan sisa dapat dihitung melalui besarnya regangan sisa yang terjadi dengan menggunakan hukum Hooke.

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon^{el}\} \quad (2.25)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \{\sigma\} &= \text{vektor tegangan} = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T \\ [D] &= \text{matrik kekakuan elastis atau matrik } stress-strain \\ \{\varepsilon^{el}\} &= \{\varepsilon - \varepsilon^{th}\} = \text{vektor regangan elastis} \\ \{\varepsilon\} &= \text{vektor regangan total} = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \varepsilon_{xy} \ \varepsilon_{yz} \ \varepsilon_{xz}]^T \\ \{\varepsilon^{th}\} &= \text{vektor regangan termal} \end{aligned}$$

Persamaan 2.25 dapat dijabarkan menjadi :

$$\{\varepsilon^{th}\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1}\{\sigma\} \quad (2.26)$$

Untuk kasus tegangan sisa pada model 3-dimensi, maka pada persamaan regangan termal dapat diubah menjadi,

$$\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\alpha_x \ \alpha_y \ \alpha_z \ 0 \ 0 \ 0]^T \quad (2.27)$$

Dimana :

$\alpha_x$  = koefisien ekspansi termal arah sumbu-x

$\Delta T$  = perbedaan temperatur yang ditinjau dengan temperatur referensi

Sehingga diketahui Matrik Kekakuan  $[D]^{-1}$  adalah sebagai berikut :

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_y & -\nu_{yz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{zy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{xz} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Dimana :

$E_x$  = modulus elastisitas arah x

$\nu_{xy}$  = mayor *poisson ratio*

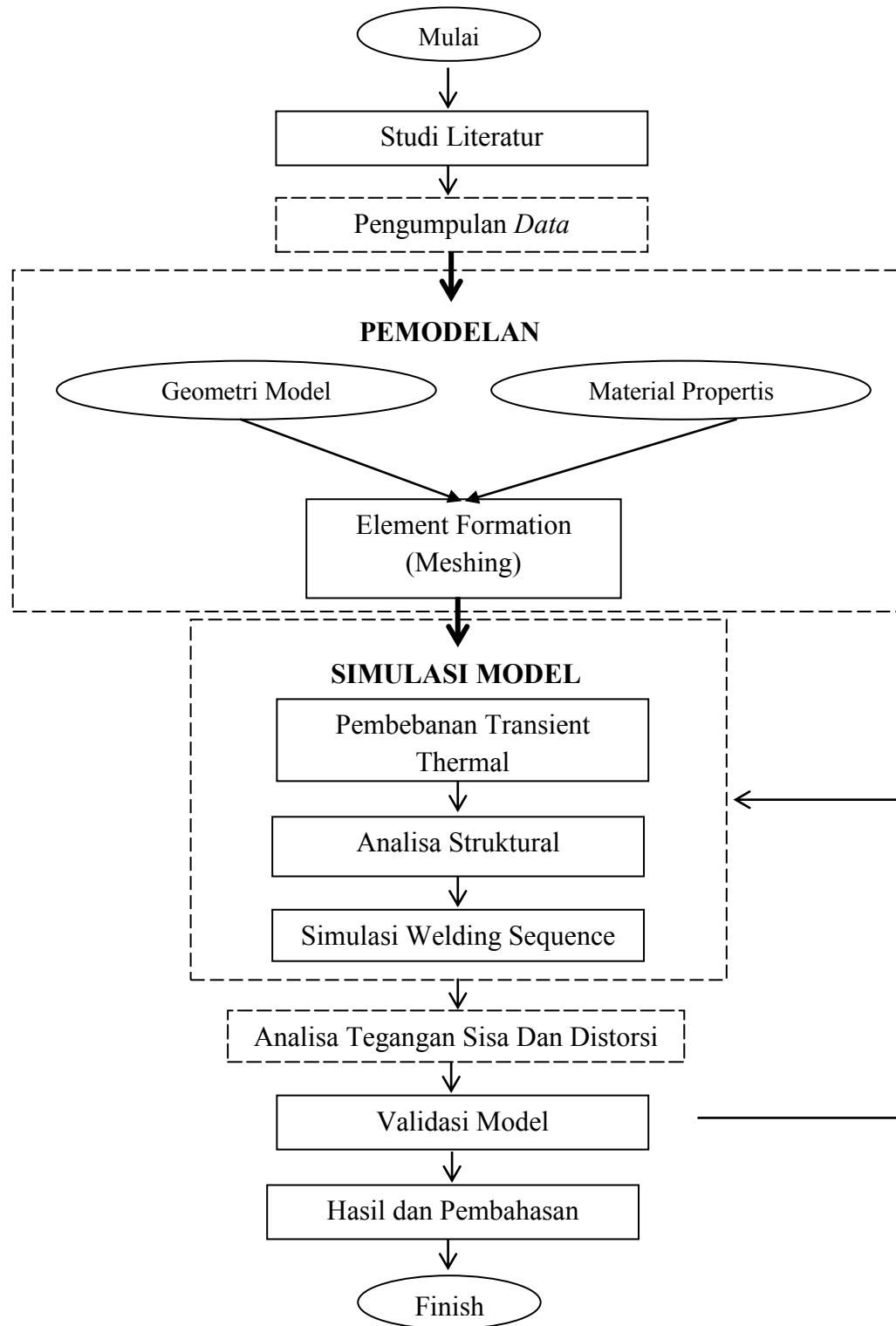
$\nu_{yx}$  = minor *poisson ratio*

$G_{xy}$  = modulus geser bidang x-y

Untuk material isotropik maka  $E_x = E_y = E_z$  dan  $\nu_{xy} = \nu_{yz} = \nu_{xz}$

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

## 3.2 Penjelasan Diagram Alir

### 3.2.1 Studi Literatur

Langkah pertama dalam prosedur pengerjaan tugas akhir ini adalah studi literatur, dimana tahap ini berisi tentang kegiatan mencari, mengkaji, dan mengumpulkan materi serta informasi yang relevan dan dapat menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur pada penelitian kali ini dilakukan dengan mencari informasi mengenai pengelasan pada sambungan *tubular joint* double T, serta sumber yang didapatkan dari jurnal, buku, materi kuliah dan juga termasuk tugas akhir dengan topic yang berkaitan dengan penelitian ini.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data, data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini mengacu pada *Welding Procedur Spesification* (WPS) untuk sambungan tubular double T yang didapatkan dari PT. Gunanusa Utama Fabricators, dan data pengelasan dapat dilihat Pada Tabel 3.1. sedangkan data geometri brace dan chord berasal dari data struktur Serang "SA" Platform yang dapat dilihat pada Tabel 3.2, adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Welding Procedur Spesification (WPS)

No	Parameter	Keterangan
1	Process	FCAW
2	Filler Metal	E71T-9C
3	Diameter Filler Metal (mm)	1.2
4	Kecepatan arus (Ampere)	148 - 209
5	Voltage	20 - 26
6	Kecepatan pengelasan (mm/min)	148 - 182
7	Heat Input (kJ/mm)	1.83 Max

Tabel 3.2 Data Geometri Serang “SA” Platform

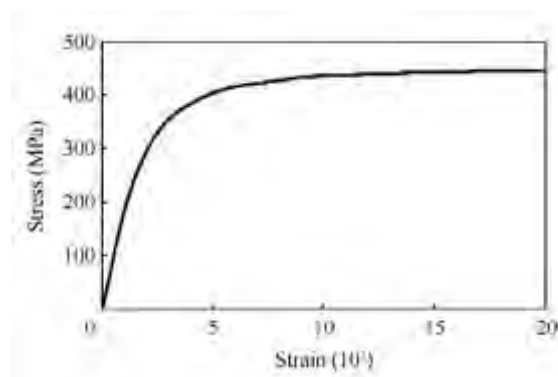
Dimensi	Chord	Brace
Outer diameter (in)	59	28
Thickness (in)	1	1.25
Length (in)	181	40

Material tubular double T yang digunakan mengacu pada ASTM A36 *Steel carbon*, dimana sifat-sifat material dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut,

Tabel 3.3 Data Material Propertis ASTM A36

Temp (K)	Specific heat (J/(kg·K))	Thermal conductivity W/(mK)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Heat transfer coefficient W/(m <sup>2</sup> ·K)	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Thermal expansion coefficient (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	Yield stress (MPa)
273	480	60	7880	15.9	210	0.280	1.10	380
373	500	50	7880	16.5	200	0.285	1.15	340
473	520	45	7800	17.3	200	0.290	1.20	315
673	650	38	7760	20.1	170	0.310	1.30	230
873	750	30	7600	24.6	80	0.330	1.42	110
1073	1000	25	7520	31.4	35	0.330	1.45	30
1473	1400	28	7300	53.6	15	0.360	1.45	20
1573	1600	37	7250	61.2	10	0.380	1.45	18
1823	1700	37	7180	84.8	10	0.390	1.45	15

Data kurva *moment-curvature* untuk jenis material ASTM A36 dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut,



Gambar 3.2 Kurva Stress-strain ASTM A36

### 3.2.3 Pemodelan

Pada tahap pemodelan kali ini dapat juga disebut sebagai preprocessor, dimana tahap pemodelan geometri beserta penginputan material properties dilakukan dan sebelum dilakukannya simulasi geometri pada struktur tubular, dilakukan proses meshing. Maka dalam hal ini dapat dilihat pada sub bab 3.3 dimana dijelaskan diagram alir pemodelan dengan lebih detail. Dimana hasil pemodelan menggunakan SolidWorks dapat dilihat pada Lampiran D Gambar. D1.

### 3.2.4 Simulasi Model

Pada tahap ini, dilakukan 2 analisa yaitu analisa *thermal* dan analisa struktural yang akan diterapkan pada *tubular joint* double T, selain itu juga dilakukan simulasi variasi *welding sequences*, berikut adalah penjelasannya,

#### a. Analisa Termal

Pada tahap ini dilakukan proses simulasi pengelasan dimana beban thermal berdasarkan penambahan waktu. Dan beban *thermal* yang diaplikasikan pada struktur geometri *tubular joint* adalah berupa penyebaran panas secara konduksi dan konveksi.

#### b. Analisa Struktural

Sedangkan untuk tahap ini, dilakukan analisa setelah mendapatkan hasil pada analisa *thermal*. Di tahap ini akan mengalami proses perubahan elemen yang awalnya elemen *solid* 90 menjadi elemen *solid* 198. Dari tahap ini akan didapatkan distribusi nilai tegangan sisa yang terjadi pada *tubular joint* tipe double T.

#### c. Simulasi *Welding Sequence*

Pada simulasi *welding sequences* ini dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi tegangan sisa pada masing-masing variasi pengelasan yaitu menerus, simetri dan loncat.

### 3.2.5 Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi

Pada tahap ini maka didapatkan hasil berupa distribusi tegangan sisa pada *tubular joint* double T, dan dimana dapat diketahui pula distribusi tegangan sisa dan deformasi terkecil pada variasi *welding sequences*.

### **3.2.6 Validasi Model**

Pada tahap ini dilakukan validasi pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Validasi yang dilakukan berupa validasi grafik histori temperature dan distribusi tegangan sisa.

### **3.2.7 Hasil dan Pembahasan**

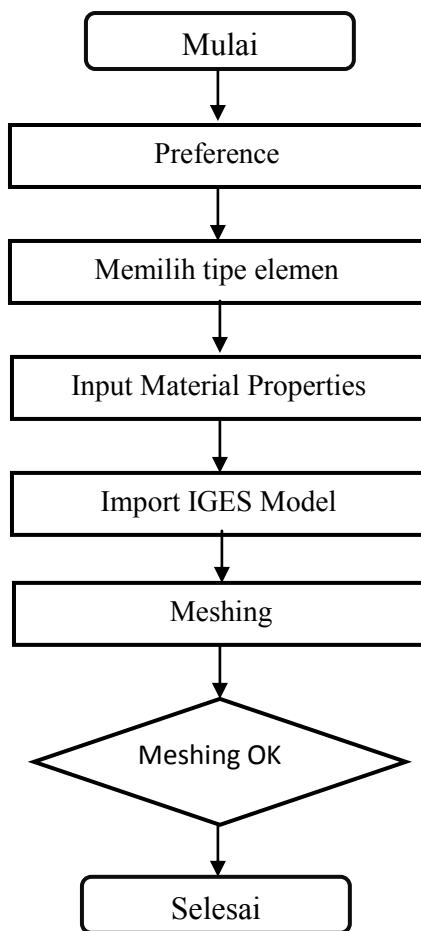
Kesimpulan dari penelitian ini adalah didapatkan nilai tegangan sisa dan bentuk distorsi dari *tubular joint* tipe double T dengan variasi *welding sequence* sehingga permasalahan yang dirumuskan dalam tugas akhir ini dapat terpecahkan dan dapat dihasilkan kesimpulan berdasarkan tujuan analisa.

## **3.3 Deskripsi Pemodelan dan Simulasi**

### **3.3.1 Pemodelan Geometri**

Pada tahap ini dilakukan pemodelan 3D *tubular joint* tipe double T dan juga sekaligus pemodelan kampuh pengelasannya. Diagram alir pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut :





Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan Geometri tubular joint tipe double T

#### 3.3.1.1 Preference

Tahap ini adalah pemilihan disiplin ilmu berupa *thermal* dan *structural*. Dimana pemilihan *thermal* digunakan untuk simulasi pengelasan sedangkan pemilihan *structural* ditunjukkan untuk analisa struktural pada tegangan sisa. Pemilihan jenis disiplin ilmu dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar D1.

#### 3.3.1.2 Memilih Tipe Elemen

Pemilihan elemen disesuaikan dengan jenis analisa yang dilakukan. Pada analisa *thermal* jenis elemen yang dipilih adalah *solid 90* sedangkan untuk analisa struktural maka dipilih *solid 186*. Pemilihan jenis elemen dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar D3.

#### 3.3.1.3 Input Material Properties

Pada tahap ini dimasukkan nilai dari sifat-sifat material ASTM A36 sesuai setiap terjadinya perubahan *temperature*. Data *material properties* dapat dilihat

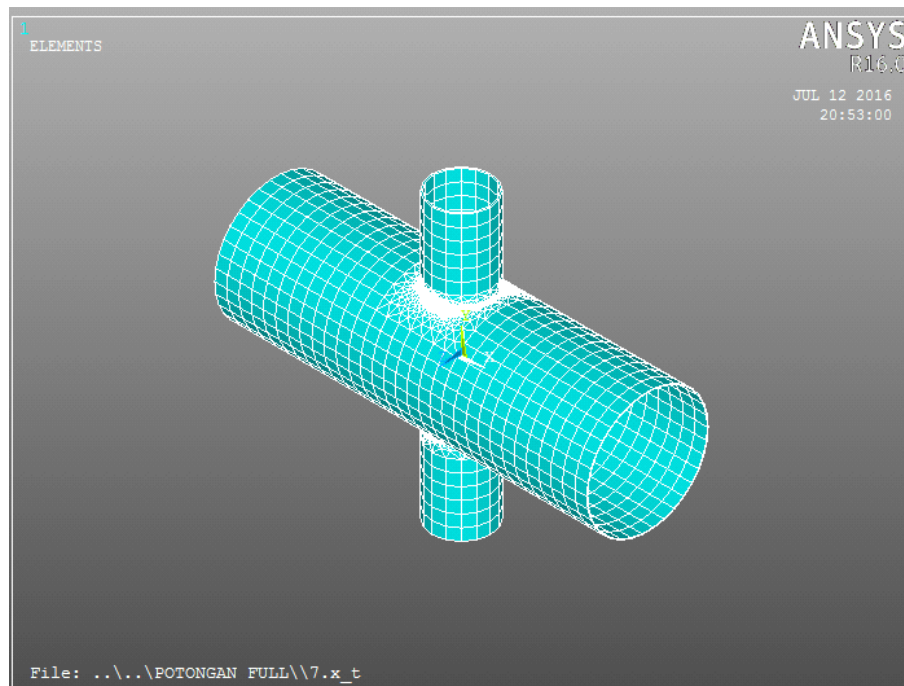
lagi pada Tabel 3.3. proses penginputan nilai dapat dilihat pada lampiran Gambar D.4 dan untuk nilai *input density* dapat dilihat pada Lampiran D Gambar. D5. Untuk input nilai *specific heat* dapat dilihat pada Lampiran D Gambar. D6.

#### **3.3.1.4 Import IGES Model**

Pada pemodelan tubular joint double T bentuk 3D sebelumnya dilakukan pada *software* SolidWorks. Oleh karena itu, data pemodelan harus diimport terlebih dahulu ke *software* ANSYS 16.0 dalam format IGES. Proses *import file* dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar D7.

#### **3.3.1.5 Meshing**

Meshing yang digunakan pada analisa ini adalah meshing volume. Pada daerah pengelasan dan yang dekat dengan area kampuh las maka dilakukan meshing tetrahedral dengan jenis elemen *solid* 90 sedangkan daerah yang lain dilakukan meshing menggunakan elemen hexahedral dengan jenis elemen *solid* 70. Tahap dalam pemilihan meshing dapat dilihat pada Lampiran D Gambar. D8. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut,



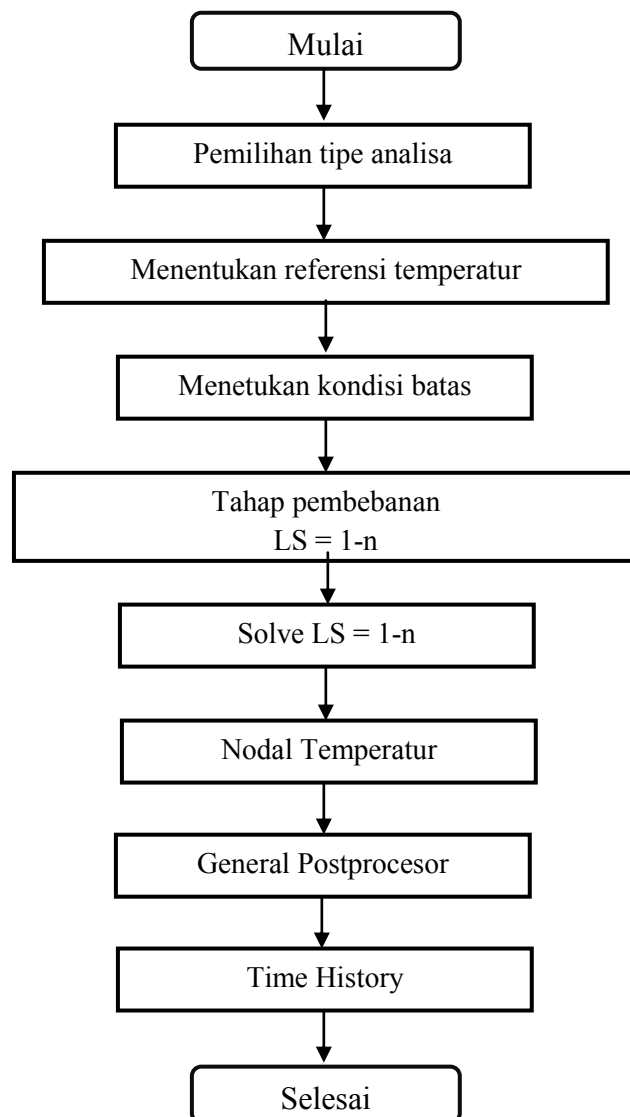
Gambar 3.4 Hasil meshing Tubular double T (31184 elemen)

#### 3.3.1.6 Pengecekan Meshing

Tahap ini dilakukan pengecekan meshing pada *tubular joint* double T disetiap titik elemen, titik *node*, rasio ukuran elemen, maupun konektifitas antara titik *node*. Penegecekan ini dilakukan dengan meshing sensitifitas yang dilakukan pemilihan ukuran elemen shingga didapatkan hasil tegangan sisa aksial yang konstan.

#### 3.3.2 Simulasi Pengelasan

Tahap ini dilakukan proses simulasi pengelasan tubular joint tipe double T, proses pengerjaan dapat dilihat pada Gambar 3.9 diagram alir simulasi pengelasan seperti gambar dibawah ini,



Gambar 3.5 Diagram alir simulasi pengelasan

#### **3.3.2.1 Pemilihan Tipe Analisa**

Dalam tahap ini, analisa yang dipilih adalah tipe *transient*, analisa transient dipilih karena pembebanan pengelasan yang diinputkan berubah terhadap fungsi waktu. Proses pemilihan tahap ini dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar D9.

#### **3.3.2.2 Menentukan Referensi Temperatur**

Tahap ini menentukan referensi dan *uniform* temperatur yang digunakan pada saat pengelasan, dimana suhu disesuaikan dengan kondisi suhu kamar yaitu 298 K.

#### **3.3.2.3 Menentukan Kondisi Batas**

Tahap ini adalah menentukan kondisi batas, yaitu perbedaan aliran konveksi pada material. Dimana pada tahap ini memasukan nilai kondisi batas dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar D10.

#### **3.3.2.4 Tahap Pembebanan**

Pada tahap ini, pembebanan diaplikasikan pada daerah pengelasan. Beban yang diaplikasikan adalah *heat flux*. Beban ini diaplikasikan mulai dari loadstep 1- n. tahapan dalam proses pembebanan pada ANSYS 16.0 dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar. D.11 dan tahapan selanjutnya setelah memberikan beban maka di berikan keterangan urutan loadstep (*ls write*), dimana dapat dilihat pada Lampiran D, Gambar. D12.

#### **3.3.2.5 Solve**

Pada Tahap ini, dilakukan tahap akhir yaitu solve, dimana beban struktural pada seluruh *load step* telah diinputkan kedalam *loadstep* 1 – n , dimana tahap ini dapat dilihat seperti pada Lampiran D, Gambar D13.

***(Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan)***

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Prosedur Pengelasan *Heat Flux*

Pada proses pengelasan, beban yang diterima oleh *base metal* adalah beban *heat flux*. Beban *heat flux* yang terjadi pada pengelasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tegangan (*voltage*), arus listrik, kecepatan pengelasan. Pada pemodelan pengelasan *heat input* dikenakan pada setiap elemen dan berjalan dengan fungsi waktu. Oleh karena itu, perlu diperhatikan pada bentuk geometri dari model agar besarnya *heat flux* dapat ditentukan.

Dimana besarnya *heat flux effective* yang dihasilkan oleh busur las didefinisikan sebagai berikut :

$$Q = \dot{\eta} U I \quad (4.1)$$

Dimana :  $Q$  = Net Heat Input/effectif thermal power (W)

$\dot{\eta}$  = 0.85 (koefisien efisien busur)

$U$  = 20 V (daya busur)

$I$  = 148 I (arus busur)

$$Q = 2516 \text{ watt}$$

*Heat input* yang telah diketahui dari perhitungan diatas adalah heat input bersih yang dihasilkan dari elektroda, yang belum dikenakan pada base metal tubular. Maka selanjutnya dihitung *heat flux* elemen :

$$q_1 = q_e (A_1/A_f) \quad (4.2)$$

dimana :  $q_1$  : *heat flux* pada elemen (J/mm<sup>2</sup>)

$q_e$  : *heat flux* yang dihasilkan elektroda (J/mm<sup>2</sup>)

$A_1$  : luas area elemen yang dikenai beban *heat input* (mm<sup>2</sup>)

$A_f$  : luas area pembebanan yang dihasilkan dari proses pengelasan (mm<sup>2</sup>)

Pada proses pengelasan dngan tipe FCAW yang diinputkan pada software ANSYS 16.0 diketahui pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 WPS (welding Procedure Specification)

Tipe	FCAW
Kecepatan	148-182 mm/min
Kuat Arus	148-209 ampere
Voltage	20-26 volts
Jenis E	E 71T-9C-J
Diameter E	1.2 mm
Efisiensi Pelindungan gas	0.8-0.9
Efisiensi tanpa prlindungan gas	0.78-0.87

Pada pembuatan geometri pemodelan champer yaitu daerah yang akan dikenakan diberi beban *heat flux* pada software berbasis metode lemen hingga maka didapatkan nilai waktu las setiap elemen (*run and stop*) adalah 34 s.

- ✓ Untuk nilai *heat flux* elektroda ( $q_e$ )

$$q_e = Q / A_e \quad (4.3)$$

$$q_e = 2516 / (\pi r^2)$$

$$q_e = 2516 / (3.14 \cdot 0.6^2)$$

$$q_e = 2225.761 \text{ watt/mm}^2$$

- ✓ Luas Elemen

pada pembuatan geometri pemodelan didapatkan nilai luasan elemen menggunakan pendekatan luasan trapezium

$$A_1 = ((p_1 + p_2)/2) \times l \quad (4.4)$$

Dimana :  $p_1$  = Panjang busur atas

$p_2$  = Panjang busur bawah

$l$  = lebar busur

$$A_1 = ((p_1 + p_2)/2) \times l$$

$$A_1 = ((116 + 117)/2)$$

$$A_1 = 629.1 \text{ mm}^2$$

- ✓ Luas Flux yang dihasilkan elektroda

$$A_f = b \times v \times t \quad (4.5)$$

Dimana :  $b$  = panjang elemen

$v$  = kecepatan pengelasan

$t$  = waktu pengelasan

$$A_f = 13689 \text{ mm}^2$$

✓ Heat flux elemen

$$q_1 = q_e (A_l / A_f)$$

$$q_1 = q_e (A_l / A_f)$$

$$q_1 = 5.114 \text{ watt/mm}^2$$

Selain *heat flux*, terdapat kondisi batas yang harus dimasukkan pada pembebanan model, yaitu *film* koefisien sebesar  $15 \text{ W/m}^2\text{K}$  dan bulk temperature sebesar  $298 \text{ K}$ .

## 4.2 Analisa Thermal

### 4.2.1 Pemilihan Meshing

Pada penelitian ini dilakukan pemilihan meshing bentuk hexahedral (elemen *brick*) dengan ukuran  $15 \text{ cm}$  dan tetrahedral (elemen prisma) pada daerah champer dengan ukuran elemen sebesar  $15 \text{ mm}$ , dengan ukuran meshing tersebut didapatkan jumlah elemen  $23226$ . Dalam pemilihan ukuran meshing, bentuk meshing tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8.

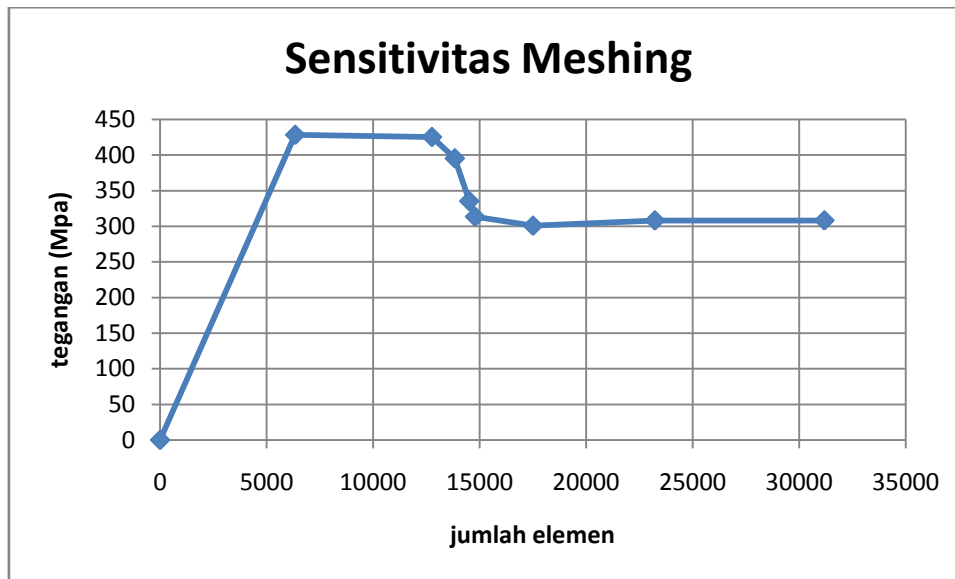
### 4.2.2 Meshing Sensitivity

Pada saat sensitivitas meshing dilakukan adalah bertujuan agar dapat menentukan keakuratan ukuran elemen yang digunakan. Hal ini dilakukan dengan melakukan perubahan ukuran elemen secara iteratif menjadi elemen lebih kecil sehingga didapatkan tegangan yang konstan.

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya jumlah elemen maka akan berubah pula nilai dari tegangan sisa aksial yang dihasilkan. Pada sensitivitas meshing ini diambil pada titik  $0.5 \text{ m}$  dari *weldtoe*. Dari Gambar 4.1 tersebut dapat dilihat pada jumlah elemen  $23336$  didapatkan hasil yang konstan. Akan tetapi hasil yang dihasilkan akan mencapai titik kritis yaitu dimana



tegangan sisa yang terjadi tidak mengalami perubahan meskipun diberikan penambahan jumlah elemen.

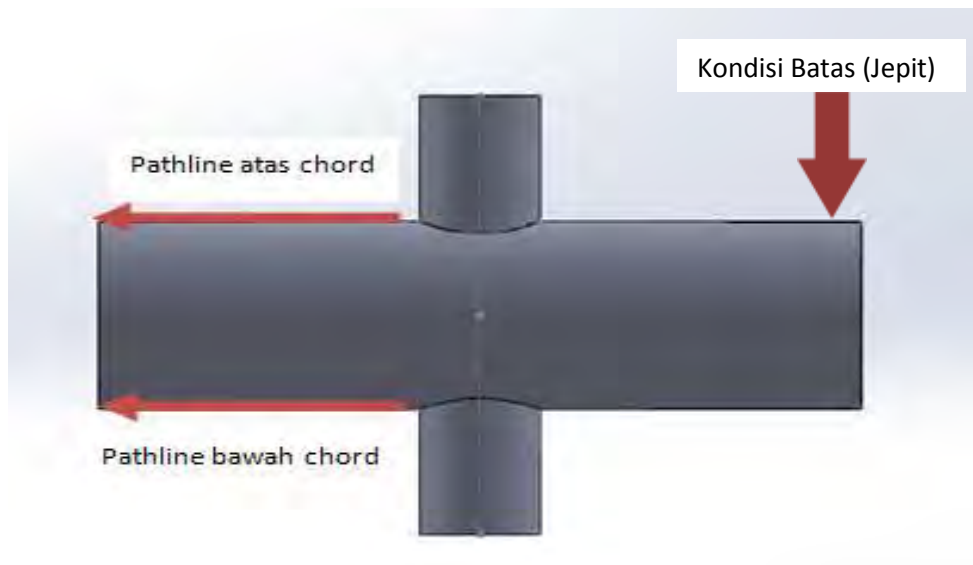


Gambar 4.1 Sensitivitas meshing

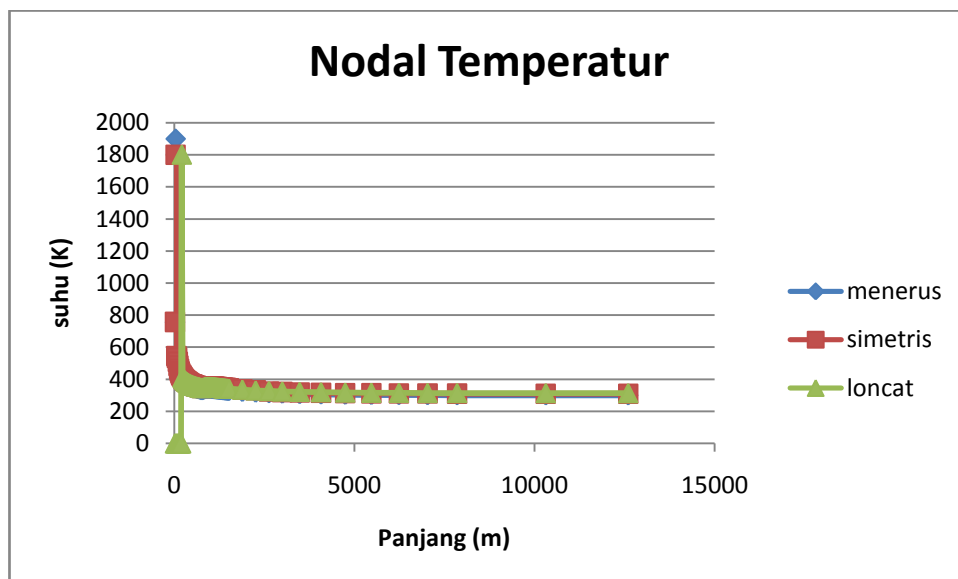
#### 4.2.3 Validasi Temperatur

Pada analisa thermal, dilakukan validasi temperature berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jeyakumar (2013) model tubular yang berbeda namun *Welding Procedure Specification* (WPS) dan *material properties* yang sama. Untuk validasi temperatur distribusi suhu diambil pada saat *load step* pertama. Dimana validasi temperatur dilakukan pada permukaan tubular bagian atas, dengan nilai distribusi suhu didapatkan dari garis bantu atau *pathline*. Sketsa *pathline* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Sedangkan pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik nodal temperatur pada saat awal pengelasan untuk *welding sequences* menerus, simetris dan loncat.

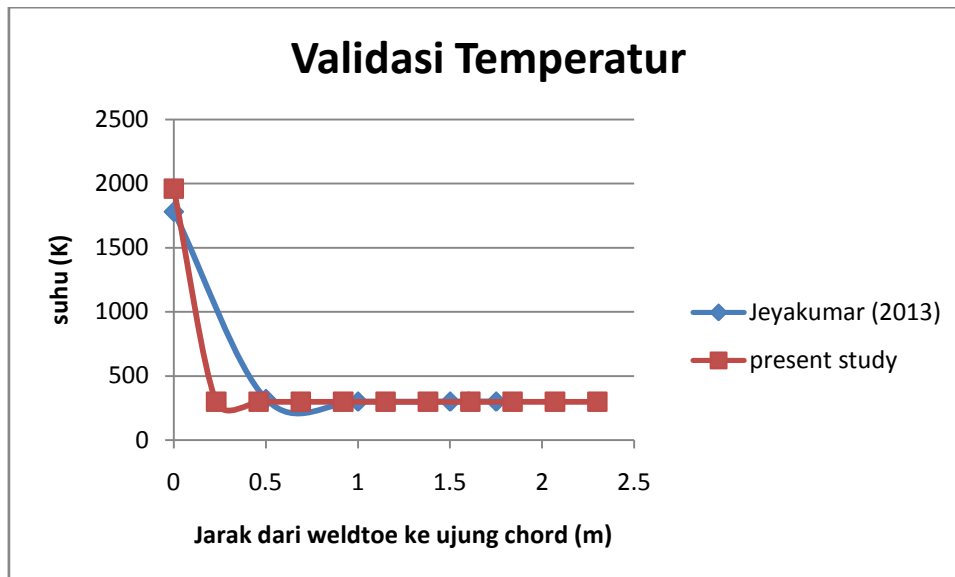
Dan untuk nodal temperature pada Gambar 4.3 didapatkan nilai tertinggi pada pengelasan menerus adalah 1898.83 K, pengelasan simetris sebesar 1798.83 K dan pengelasan loncat sebesar 1800.63 K. Sedangkan pada Gambar 4.4 adalah validasi distribusi temperatur pengelasan menerus. Dari Gambar 4.4 validasi mempunyai plot grafik yang sama, dimana didapatkan nilai tertinggi pada tugas akhir sebesar 1960.42 K dan pada penelitian Jeyakumar didapatkan suhu tertinggi adalah sebesar 1790 K.



Gambar 4.2 *Pathline*.

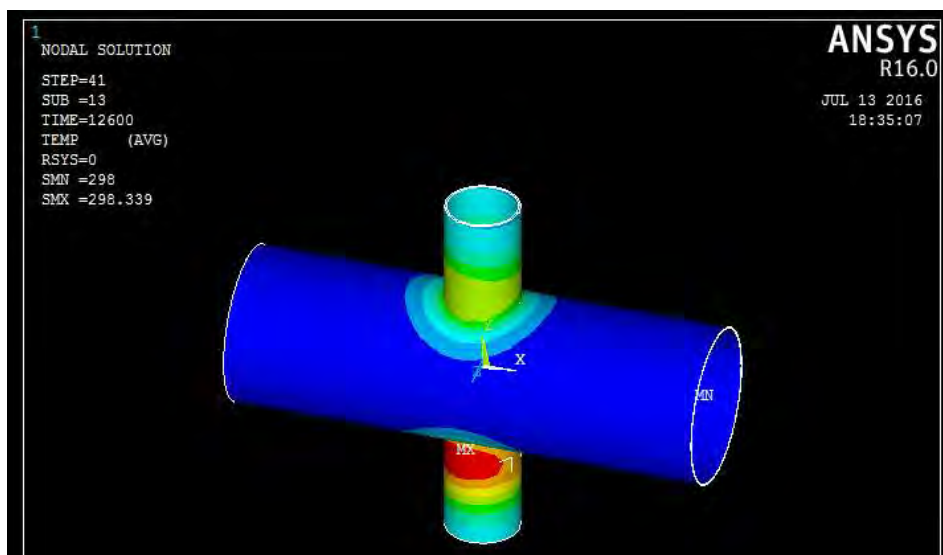


Gambar 4.3 Nodal Temperatur

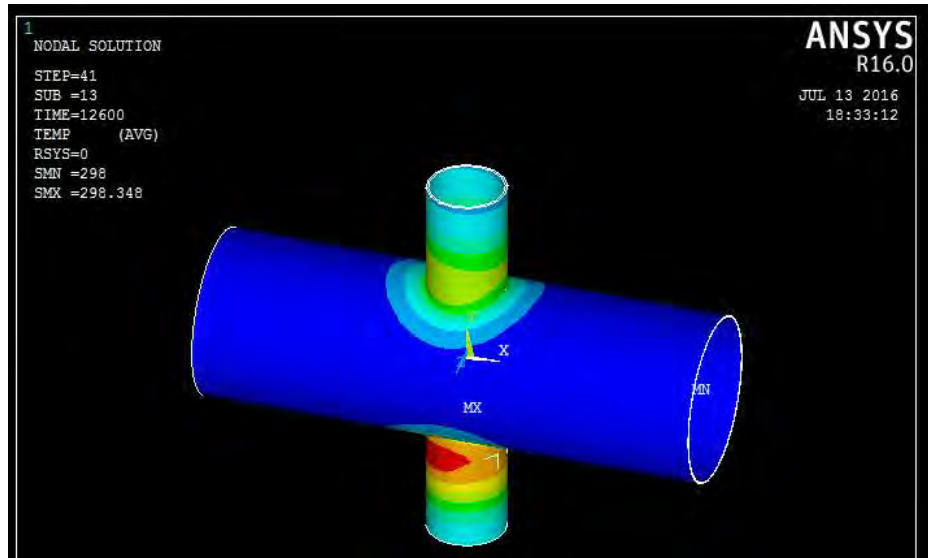


Gambar 4.4 Validasi distribusi panas dari *weldtoe* sampai ujung *chord*

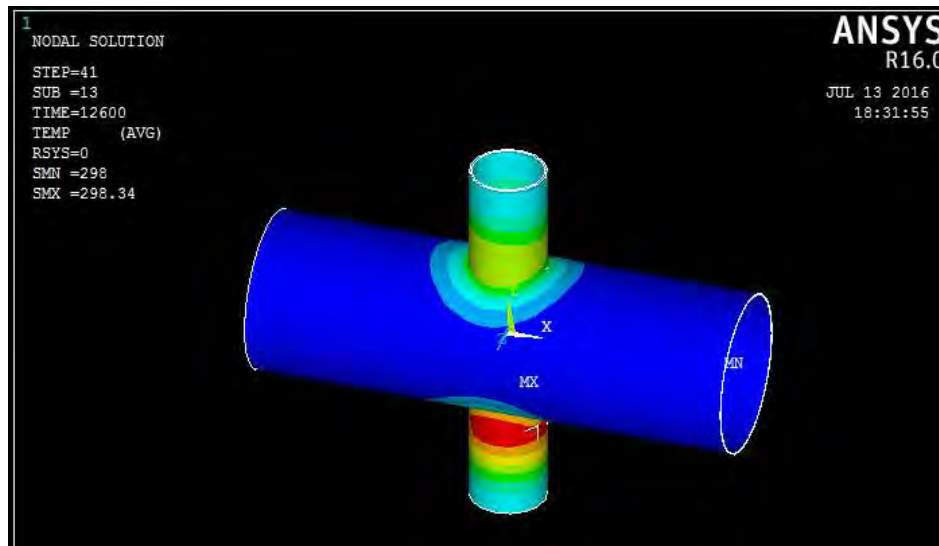
Dengan dilakukan simulasi urutan pengelasan dalam 3 variasi yaitu pengelasan menerus, simetris dan loncat dimana sketsa penjelasan skema urutan pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.11 (menerus), Gambar 2.12 (simetris) dan Gambar 2.13 (loncat atau putus-putus). Maka distribusi panas pada tubular joint setelah pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.5 Distribusi panas Pengelasan menerus



Gambar 4.6 Distribusi panas Pengelasan simetris



Gambar 4.7 Distribusi panas Pengelasan loncat

Dari hasil distribusi panas pada tubular setelah pengelasan selama 1360 s ditambah dengan proses pendinginan menjadi 12600 s didapatkan suhu pada tubular DT-joint dengan variasi pengelasan menerus, simetris maupun loncat, adalah kembali ke suhu ruangan yaitu 298 K.

### 4.3 Analisa Struktural

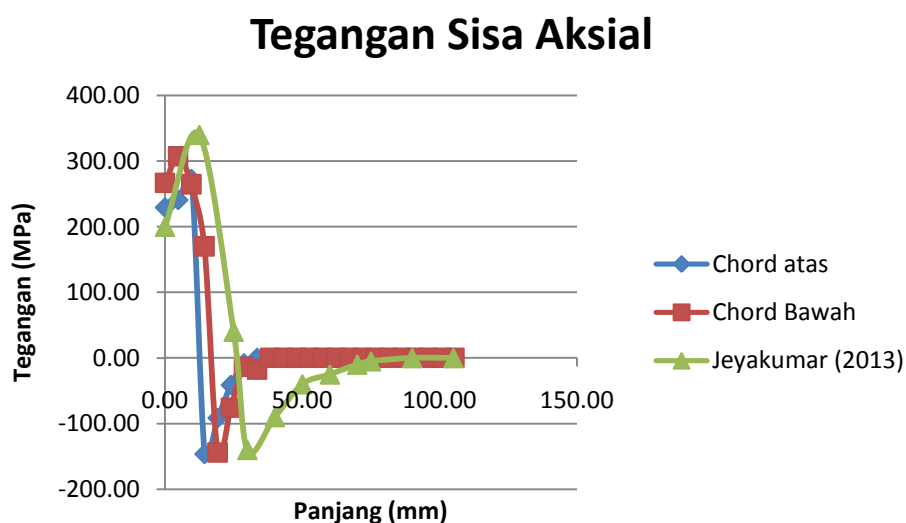
Pada penelitian ini, dilakukan analisa struktural dimana hasil analisa ini berupa tegangan sisa dan deformasi yang terjadi pada tubular joint double T. analisa struktural ini dilakukan berdasarkan variasi *welding sequences* yaitu

menerus, simetris dan loncat atau putus-putus. Dimana simulasi *welding sequences* ini dapat dilihat pada Gambar 2.11 (menerus), 2.12 (simetris) dan Gambar 2.13 (loncat atau putus-putus). Pada pemodelan analisa struktural diberikan kondisi batas, yaitu pada sisi kanan chord diberikan beban jepit, dimana  $u_x, u_y$  dan  $u_z = 0$ . Dimana input command untuk kondisi batas jepit pada analisa struktural dapat dilihat pada Lampiran C. Sehingga pada analisa ini didapatkan nilai tegangan sisa aksial dan deformasi yang terjadi pada *tubularDT-joint*.

#### 4.3.1 Validasi Tegangan Sisa

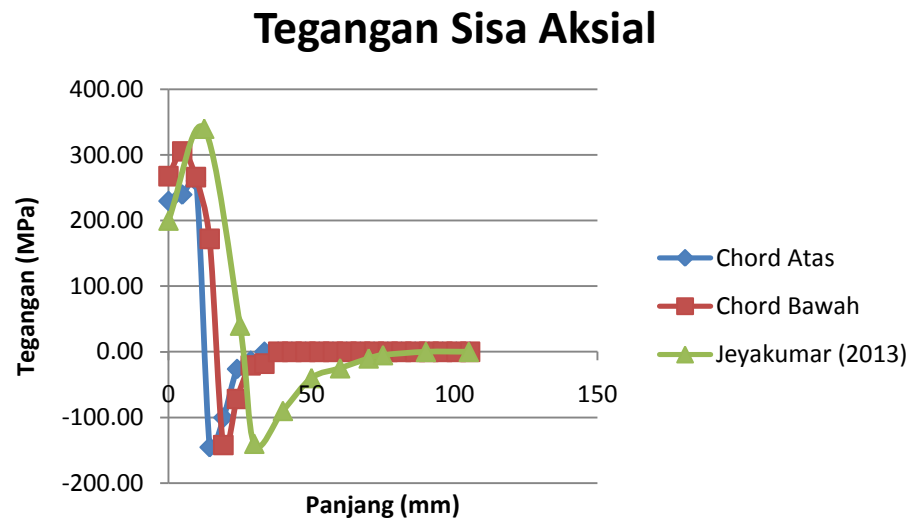
Validasi tegangan sisa yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah meninjau distribusi tegangan sisa aksial pada *tubular joint* dari *weldtoe* sampai ujung *chord* sebelah kiri. Pada Gambar 4.2 adalah sketsa pathline dimana garis bantu ini digunakan untuk meninjau distribusi tegangan sisa pada permukaan tubular.

Pada Gambar 4.8 dibawah adalah validasi tegangan sisa aksial pada permukaan *tubular DT-joint* yang ditinjau dengan menggunakan pathline berdasarkan variasi *welding sequences* menerus, Pada hasil yang didapatkan pada variasi menerus ini adalah tegangan sisa aksial maksimum pada atas *chord* adalah sebesar 272.7 MPa dan pada permukaan *chord* bagian bawah adalah sebesar 307.1 MPa.



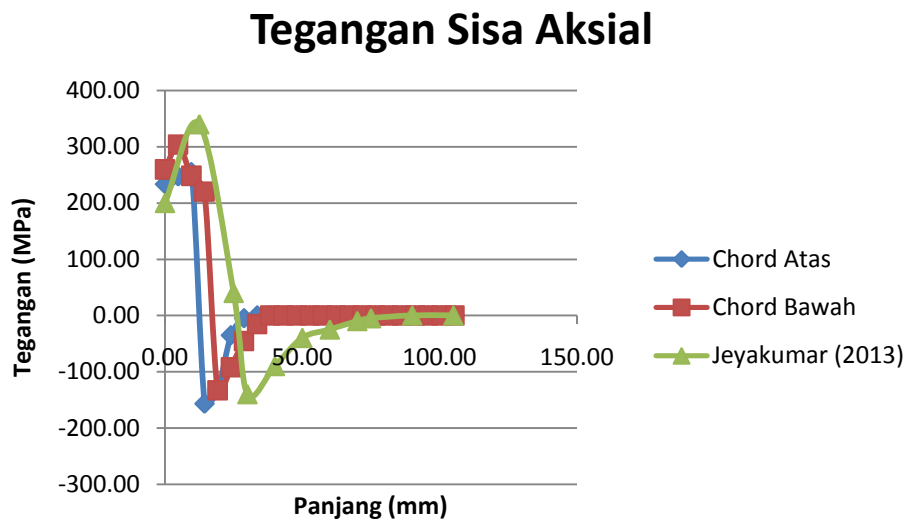
Gambar 4.8 Tegangan sisa aksial pengelasan menerus.

Pada Gambar 4.9 dibawah adalah validasi tegangan sisa aksial pada permukaan *tubularDT- joint* berdasarkan variasi *welding sequences* simetris, Pada hasil yang didapatkan pada variasi simetris ini adalah tegangan aksial maksimum pada atas *chord* adalah sebesar 260.3 MPa dan pada permukaan *chord* bagian bawah adalah sebesar 305.1 MPa.



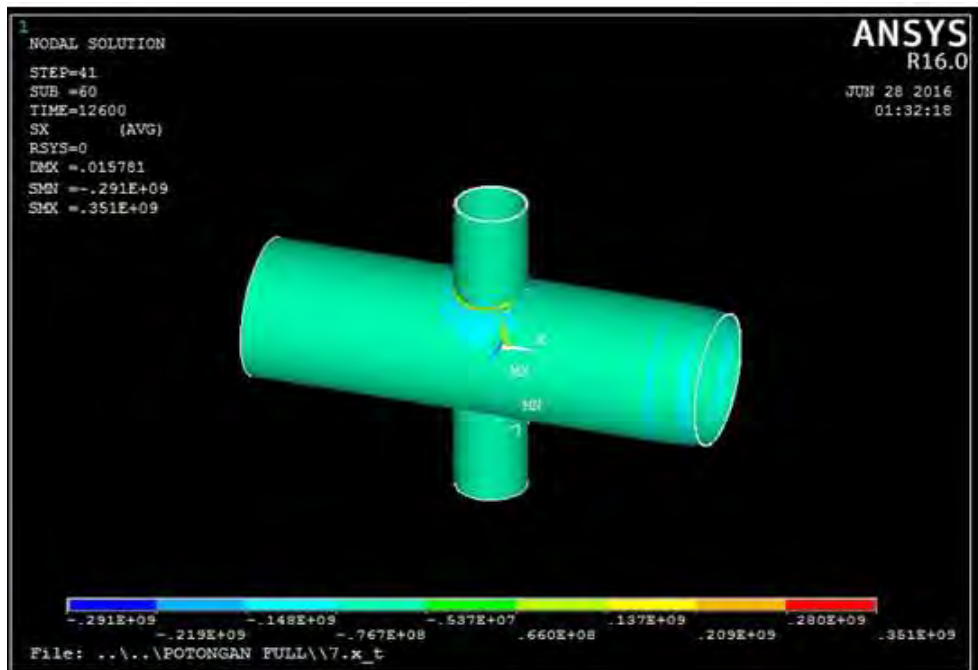
Gambar 4.9 Tegangan sisa aksial pengelasan simetris

Pada Gambar 4.10 dibawah adalah validasi tegangan sisa aksial pada permukaan tubular DT-joint berdasarkan variasi *welding sequences* putus-putus atau loncat, pada hasil yang didapatkan pada variasi loncat ini adalah tegangan aksial maksimum pada atas *chord* adalah sebesar 254.9 MPa dan pada permukaan *chord* bagian bawah adalah sebesar 303.5 MPa.

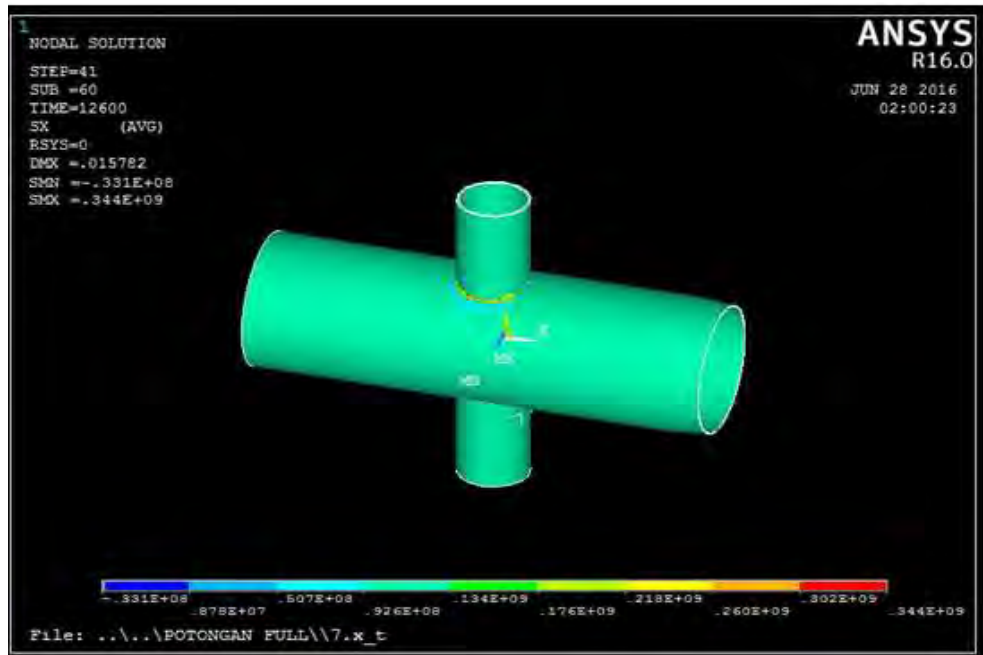


Gambar 4.10 Tegangan sisa aksial pengelasan putus-putus / loncat

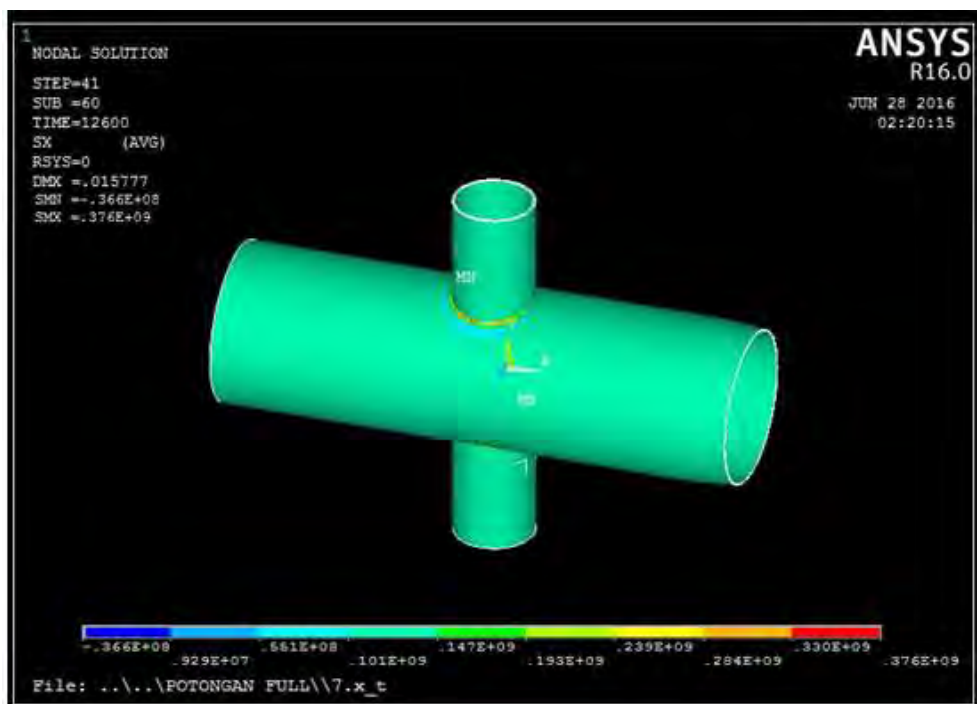
Pada analisa struktural ini dengan dilakukanya simulasi pengelasan dalam 3 variasi yaitu urutan pengelasan menerus, simetris dan putus-putus atau locat dimana sketsa penjelasan distribusi tegangan sisa aksial dapat dilihat pada Gambar 4.11 (menerus), Gambar 4.12 (simetris) dan Gambar 4.13 (loncat atau putus-putus) adalah sebagai berikut.



Gambar 4.11 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan menerus



Gambar 4.12 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan simetris

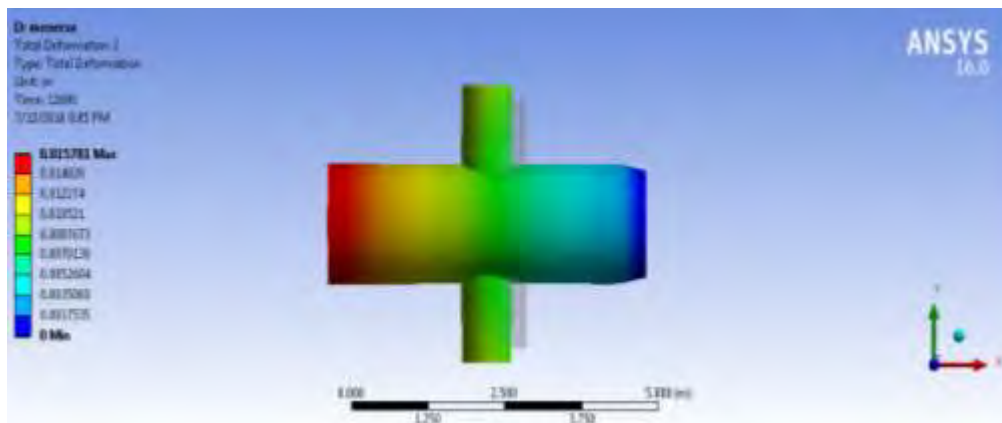


Gambar 4.13 Distribusi Tegangan sisa aksial pengelasan loncat / putus-putus

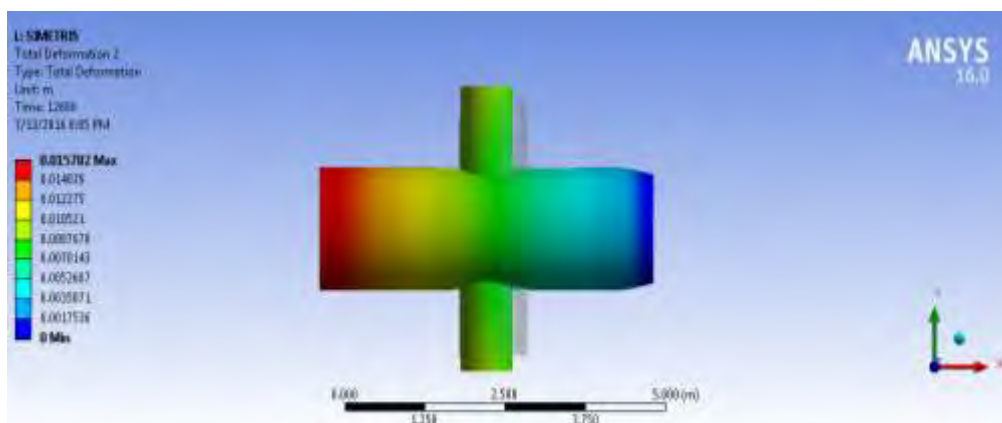


### 4.3.2 Hasil Distorsi Tubular DT-Joint.

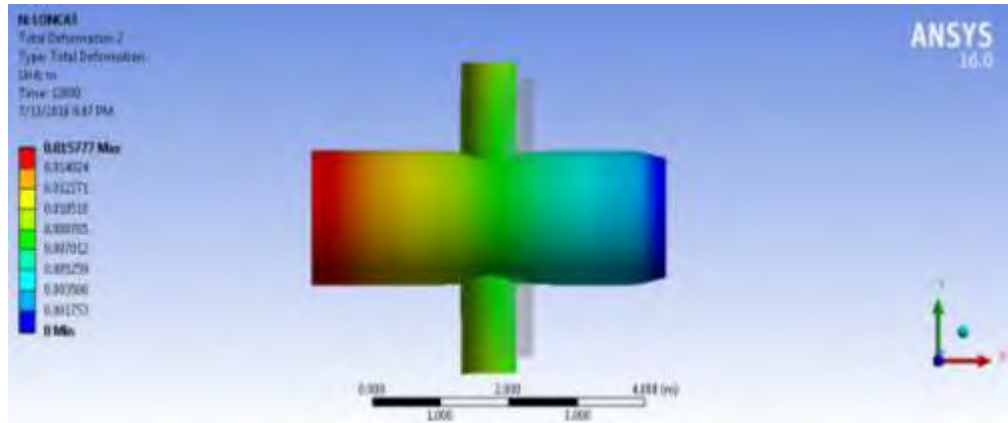
Pada analisa struktural ini juga didapatkan nilai deformasi yang terjadi pada *tubular DT-joint* setelah pengelasan dan pendinginan. Hasil deformasi pada simulasi pengelasan menerus dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan didapatkan nilai total deformasi maksimal sebesar 0.015781 m. Untuk pengelasan dengan variasi simetris dapat dilihat pada Gambar 4.5 dengan nilai total deformasi maksimal sebesar 0.015782 m. Sedangkan untuk variasi pengelasan loncat atau putus-putus distribusi perubahan deformasi dapat dilihat pada Gambar 4.16 dimana didapatkan nilai total deformasi maksimal sebesar 0.015777 m. Pada keseluruhan variasi urutan pengelasan, dapat dilihat bahwa nilai total deformasi terbesar terjadi pada bagian chord yang bebas atau tidak dijepit.



Gambar 4.14 Total Defomasi pada pengelasan menerus



Gambar 4.15 Total Defomasi pada pengelasan simetris



Gambar 4.16 Total Defomasi pada pengelasan loncat / putus-putus

***(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)***

**LAMPIRAN A**  
***INPUT COMMAND ANALISA THERMAL***

!!!! LOADSTEP 1	NEQIT,3000	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,107
FITEM,2,1	LSWRITE,1,	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,113
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 2
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,41	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,38	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,42
NSUBST,2, , 0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
	FITEM,2,87	

SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX
TIME,76	FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,74	FITEM,2,43
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,80	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,87	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,2,	FITEM,2,109	TIME,114
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 3	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,3,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31		

FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,44	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,152	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
X	KBC,1	FITEM,2,-105
!!!! LOADSTEP 4	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,1	LSWRITE,4,	FITEM,2,113
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 5
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49

FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 6
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,45	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,190	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,46
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,5,	FITEM,2,107	TIME,228
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
	SFADELE,P51X,1,HFLU X	



NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,6,	FITEM,2,109	TIME,266
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 7	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,7,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,47	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87		FITEM,2,31

FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,51	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,53	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,74	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,48	FITEM,2,1
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,107	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,113	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	TIME,304	FITEM,2,74
SFADELE,P51X,1,HFLU	AUTOTS,0	FITEM,2,80
X	NSUBST,2, , 0	FITEM,2,87
!!!! LOADSTEP 8	KBC,1	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FITEM,2,1	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	LSWRITE,8,	FITEM,2,113
FITEM,2,31	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,51	FITEM,2,1	X
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 9
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,87	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,107	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,113	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
NEQIT,3000	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
	FITEM,2,113	FITEM,2,-105

FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,49	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,342	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,51
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,9,	FITEM,2,107	TIME,380
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,-24	SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000
FITEM,2,31	!!!! LOADSTEP 10	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,10,
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
	FITEM,2,-49	

FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 11	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,11,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,418	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
X	KBC,1	

FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,456	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
X	KBC,1	FITEM,2,-105
!!!! LOADSTEP 12	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,1	LSWRITE,12,	FITEM,2,113
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 13
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
8	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
FITEM,2,32	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,31	

SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,33	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,494	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,34
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,13,	FITEM,2,107	TIME,532
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,-24	SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000
FITEM,2,31	!!!! LOADSTEP 14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,14,
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,51	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,74	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,80	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,87	FITEM,2,74
	FITEM,2,-105	

FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,298	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,35	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,5114000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	TIME,570	FITEM,2,51
FITEM,2,109	AUTOTS,0	FITEM,2,53
FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	KBC,1	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLUX	NEQIT,3000	FITEM,2,87
!!!! LOADSTEP 15	TSRES,ERASE	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,15,	FITEM,2,107
FITEM,2,1	!!!! DEL CONV	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113
FITEM,2,31	FITEM,2,1	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49		SFADELE,P51X,1,HFLUX

!!!! LOADSTEP 16	NEQIT,3000	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,107
FITEM,2,1	LSWRITE,16,	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,113
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 17
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,36	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,608	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,37
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
	FITEM,2,87	



SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX
TIME,646	FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,74	FITEM,2,38
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,80	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,87	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,17,	FITEM,2,109	TIME,684
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 18	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,18,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31		

FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,39	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,722	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , , 0	FITEM,2,87
X	KBC,1	FITEM,2,-105
!!!! LOADSTEP 19	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,1	LSWRITE,19,	FITEM,2,113
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 20
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49

FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 21
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,40	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
NEQIT,3000	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
TIME,760	FITEM,2,53	FITEM,2,96
AUTOTS,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,80	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
NEQIT,3000	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	TIME,798
LSWRITE,20,	FITEM,2,109	AUTOTS,0
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	

NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,21,	FITEM,2,109	TIME,836
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 22	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,22,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,95	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87		FITEM,2,31

FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,51	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,53	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,74	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,94	FITEM,2,1
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,107	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,113	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	TIME,874	FITEM,2,74
SFADELE,P51X,1,HFLU	AUTOTS,0	FITEM,2,80
X	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
!!!! LOADSTEP 23	KBC,1	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FITEM,2,1	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	LSWRITE,23,	FITEM,2,113
FITEM,2,31	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,51	FITEM,2,1	X
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 24
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,87	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,107	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,113	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
NEQIT,3000	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
	FITEM,2,113	FITEM,2,-105

FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,93	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,912	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,92
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,24,	FITEM,2,107	TIME,950
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,-24	SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000
FITEM,2,31	!!!! LOADSTEP 25	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,25,
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
	FITEM,2,-49	

FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 26	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,26,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,91	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	TIME,988	FITEM,2,51
FITEM,2,109	AUTOTS,0	FITEM,2,53
FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	KBC,1	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU X		FITEM,2,87

FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,1026	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
X	KBC,1	FITEM,2,-105
!!!! LOADSTEP 27	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,1	LSWRITE,27,	FITEM,2,113
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 28
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
8	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
FITEM,2,90	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,31	



SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,89	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,1064	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,88
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,28,	FITEM,2,107	TIME,1102
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,-24	SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000
FITEM,2,31	!!!! LOADSTEP 29	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,29,
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,51	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,74	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,80	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,87	FITEM,2,74
	FITEM,2,-105	

FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,87	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	TIME,1140	FITEM,2,51
FITEM,2,109	AUTOTS,0	FITEM,2,53
FITEM,2,113	NSUBST,2, , 0	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	KBC,1	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000	FITEM,2,87
!!!! LOADSTEP 30	TSRES,ERASE	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,30,	FITEM,2,107
FITEM,2,1	!!!! DEL CONV	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113
FITEM,2,31	FITEM,2,1	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49		SFADELE,P51X,1,HFLU X

!!!! LOADSTEP 31	NEQIT,3000	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,107
FITEM,2,1	LSWRITE,31,	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,113
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 32
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,107	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,1178	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,105
NSUBST,2, , 0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
	FITEM,2,87	

SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX
TIME,1216	FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,74	FITEM,2,104
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,80	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,87	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,32,	FITEM,2,109	TIME,1254
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 33	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,33,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31		

FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,103	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,109	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,113	TIME,1292	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	AUTOTS,0	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,HFLU	NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,87
X	KBC,1	FITEM,2,-105
!!!! LOADSTEP 34	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,1	LSWRITE,34,	FITEM,2,113
FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	X
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 35
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49

FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 36
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,102	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
NEQIT,3000	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
TIME,1330	FITEM,2,53	FITEM,2,101
AUTOTS,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,80	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
NEQIT,3000	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	TIME,1368
LSWRITE,35,	FITEM,2,109	AUTOTS,0
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	

NEQIT,3000	FITEM,2,-105	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,107	NEQIT,3000
LSWRITE,36,	FITEM,2,109	TIME,1406
!!!! DEL CONV	FITEM,2,113	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	SFADELE,P51X,1,HFLU X	KBC,1
FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 37	NEQIT,3000
FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FITEM,2,1	LSWRITE,37,
FITEM,2,51	FITEM,2,-24	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,80	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,87	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,-105	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109	FITEM,2,87
!!!! DEL HFX	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
FITEM,2,1	NEQIT,3000	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	FITEM,2,113
FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX
FITEM,2,53	FITEM,2,100	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	NEQIT,3000	FITEM,2,1
FITEM,2,80	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,87		FITEM,2,31

FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29	FITEM,2,-146
FITEM,2,51	8	SFADELE,P51X,1,CONV
FITEM,2,53	!!!! APPLY HFX	!!!! DEL HFX
FITEM,2,74	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,99	FITEM,2,1
FITEM,2,87	NEQIT,3000	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	NEQIT,3000	FITEM,2,31
FITEM,2,107	SFA,P51X,1,HFLUX,511	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	4000	FITEM,2,51
FITEM,2,113	NEQIT,3000	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	TIME,1444	FITEM,2,74
SFADELE,P51X,1,HFLU	AUTOTS,0	FITEM,2,80
X	NSUBST,2, , 0	FITEM,2,87
!!!! LOADSTEP 38	KBC,1	FITEM,2,-105
FLST,2,102,5,ORDE,14	NEQIT,3000	FITEM,2,107
FITEM,2,1	TSRES,ERASE	FITEM,2,109
FITEM,2,-24	LSWRITE,38,	FITEM,2,113
FITEM,2,31	!!!! DEL CONV	FITEM,2,-146
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	SFADELE,P51X,1,HFLU
FITEM,2,51	FITEM,2,1	X
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP 39
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	FITEM,2,1
FITEM,2,87	FITEM,2,51	FITEM,2,-24
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FITEM,2,31
FITEM,2,107	FITEM,2,74	FITEM,2,-49
FITEM,2,109	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,113	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,-146	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
NEQIT,3000	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
	FITEM,2,113	FITEM,2,-105



FITEM,2,107	FITEM,2,80	FITEM,2,51
FITEM,2,109	FITEM,2,87	FITEM,2,53
FITEM,2,113	FITEM,2,-105	FITEM,2,74
FITEM,2,-146	FITEM,2,107	FITEM,2,80
NEQIT,3000	FITEM,2,109	FITEM,2,87
NEQIT,3000	FITEM,2,113	FITEM,2,-105
SFA,P51X,1,CONV,15,29 8	FITEM,2,-146	FITEM,2,107
!!!! APPLY HFX	SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,109
FLST,2,1,5,ORDE,1	!!!! DEL HFX	FITEM,2,113
FITEM,2,98	FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,-146
NEQIT,3000	FITEM,2,1	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,-24	NEQIT,3000
SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000	FITEM,2,31	SFA,P51X,1,CONV,15,29 8
NEQIT,3000	FITEM,2,-49	!!!! APPLY HFX
TIME,1482	FITEM,2,51	FLST,2,1,5,ORDE,1
AUTOTS,0	FITEM,2,53	FITEM,2,97
NSUBST,2, , ,0	FITEM,2,74	NEQIT,3000
KBC,1	FITEM,2,80	NEQIT,3000
NEQIT,3000	FITEM,2,87	SFA,P51X,1,HFLUX,511 4000
TSRES,ERASE	FITEM,2,-105	NEQIT,3000
LSWRITE,39,	FITEM,2,107	TIME,1520
!!!! DEL CONV	FITEM,2,109	AUTOTS,0
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	NSUBST,2, , ,0
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	KBC,1
FITEM,2,-24	SFADELE,P51X,1,HFLU X	NEQIT,3000
FITEM,2,31	!!!! LOADSTEP 40	TSRES,ERASE
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	LSWRITE,40,
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!!!! DEL CONV
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	FLST,2,102,5,ORDE,14
FITEM,2,74	FITEM,2,31	FITEM,2,1
	FITEM,2,-49	

FITEM,2,-24	!!!! LOADSTEP	FINISH
FITEM,2,31	PENDINGINAN 41	/POST1
FITEM,2,-49	FLST,2,102,5,ORDE,14	SET, LAST
FITEM,2,51	FITEM,2,1	!*
FITEM,2,53	FITEM,2,-24	PLNS,TEMP,
FITEM,2,74	FITEM,2,31	ANTIME,50,0.5, ,1,1,1,40
FITEM,2,80	FITEM,2,-49	!*
FITEM,2,87	FITEM,2,51	SAVE
FITEM,2,-105	FITEM,2,53	FINISH
FITEM,2,107	FITEM,2,74	
FITEM,2,109	FITEM,2,80	
FITEM,2,113	FITEM,2,87	
FITEM,2,-146	FITEM,2,-105	
SFADELE,P51X,1,CONV	FITEM,2,107	
!!!! DEL HFX	FITEM,2,109	
FLST,2,102,5,ORDE,14	FITEM,2,113	
FITEM,2,1	FITEM,2,-146	
FITEM,2,-24	NEQIT,3000	
FITEM,2,31	NEQIT,3000	
FITEM,2,-49	SFA,P51X,1,CONV,15,29	
FITEM,2,51	8	
FITEM,2,53	NEQIT,3000	
FITEM,2,74	TIME,12600	
FITEM,2,80	AUTOTS,0	
FITEM,2,87	NSUBST,30, , ,0	
FITEM,2,-105	KBC,1	
FITEM,2,107	NEQIT,3000	
FITEM,2,109	TSRES,ERASE	
FITEM,2,113	LSWRITE,41,	
FITEM,2,-146	LSCLEAR,ALL	
SFADELE,P51X,1,HFLU	LSSOLVE,1,41,1,	
X	SAVE	

***(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)***

**LAMPIRAN B**  
***INPUT COMMAND* ANALISA STRUKTURAL**

LSWRITE,1,	TIME,102	!* OUTRES,ALL,ALL,
!!!!!!!!! LOADSTEP 2	AUTOTS,0	!* NEQIT,3000
LDREAD,TEMP,2,LAST,	NSUBST,2,0,0,0	!* OUTPR,ALL,ALL,
,,'DB','rth',''	KBC,1	!* /GST,1
!* OUTPR,ALL,ALL,	!* TSRES,ERASE	!* TIME,170
/GST,1	LSWRITE,3,	AUTOTS,0
!* OUTRES,ALL,ALL,	!!!!!!!!! LOADSTEP 4	NSUBST,2,0,0,0
!* NEQIT,3000	LDREAD,TEMP,4,LAST,	KBC,1
!* !* !* TIME,68	,,'DB','rth',''	!* TSRES,ERASE
AUTOTS,0	!* OUTPR,ALL,ALL,	LSWRITE,5,
NSUBST,2,0,0,0	/GST,1	!!!!!!!!! LOADSTEP 6
KBC,1	!* OUTRES,ALL,ALL,	LDREAD,TEMP,6,LAST,
!* TSRES,ERASE	!* NEQIT,3000	,,'DB','rth',''
LSWRITE,2,	!* OUTPR,ALL,ALL,	!* /GST,1
!!!!!!!!! LOADSTEP 3	!* /GST,1	!* OUTRES,ALL,ALL,
LDREAD,TEMP,3,LAST,	TIME,136	!* NEQIT,3000
,,'DB','rth',''	AUTOTS,0	!* OUTPR,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL,	NSUBST,2,0,0,0	!* /GST,1
/GST,1	KBC,1	!* TIME,204
!* OUTRES,ALL,ALL,	!* TSRES,ERASE	AUTOTS,0
!* NEQIT,3000	LSWRITE,4,	NSUBST,2,0,0,0
!* !* !* /GST,1	!!!!!!!!! LOADSTEP 5	KBC,1
	LDREAD,TEMP,5,LAST,	!* TSRES,ERASE
	,,'DB','rth',''	LSWRITE,6,
	!* OUTPR,ALL,ALL,	
	/GST,1	

!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 7	AUTOTS,0	OUTRES,ALL,ALL,
LDREAD,TEMP,7,LAST,	NSUBST,2,0,0,0	!*
, , 'DB','rth',''	KBC,1	NEQIT,3000
!*	!*	!*
OUTPR,ALL,ALL,	TSRES,ERASE	!*
/GST,1	LSWRITE,8,	TIME,340
!*	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 9	AUTOTS,0
OUTRES,ALL,ALL,	LDREAD,TEMP,9,LAST,	NSUBST,2,0,0,0
!*	, , 'DB','rth',''	KBC,1
NEQIT,3000	!*	!*
!*	OUTPR,ALL,ALL,	TSRES,ERASE
!*	/GST,1	LSWRITE,10,
TIME,238	!*	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP
AUTOTS,0	OUTRES,ALL,ALL,	11
NSUBST,2,0,0,0	!*	LDREAD,TEMP,11,LAS
KBC,1	NEQIT,3000	T, , , 'DB','rth',''
!*	!*	!*
TSRES,ERASE	!*	OUTPR,ALL,ALL,
LSWRITE,7,	TIME,306	/GST,1
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 8	AUTOTS,0	!*
LDREAD,TEMP,8,LAST,	NSUBST,2,0,0,0	OUTRES,ALL,ALL,
, , 'DB','rth',''	KBC,1	!*
!*	!*	NEQIT,3000
OUTPR,ALL,ALL,	TSRES,ERASE	!*
/GST,1	LSWRITE,9,	!*
!*	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP	TIME,374
OUTRES,ALL,ALL,	10	AUTOTS,0
!*	LDREAD,TEMP,10,LAS	NSUBST,2,0,0,0
NEQIT,3000	T, , , 'DB','rth',''	KBC,1
!*	!*	!*
!*	OUTPR,ALL,ALL,	TSRES,ERASE
!*	/GST,1	LSWRITE,11,
TIME,272	!*	

!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 12	TIME,442	/GST,1
LDREAD,TEMP,12,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	AUTOTS,0	!* OUTRES,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1	NSUBST,2,0,0,0	!* NEQIT,3000
!* OUTRES,ALL,ALL,	KBC,1	!* TSRES,ERASE
!* NEQIT,3000	!* LSWRITE,13,	!* TIME,510
!* TIME,408	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 14	AUTOTS,0
AUTOTS,0	LDREAD,TEMP,14,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	NSUBST,2,0,0,0
NSUBST,2,0,0,0	!* OUTPR,ALL,ALL,	KBC,1
KBC,1	!* /GST,1	!* TSRES,ERASE
!* TSRES,ERASE	!* OUTRES,ALL,ALL,	LSWRITE,15,
LSWRITE,12,	!* NEQIT,3000	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 16
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 13	!* TIME,476	LDREAD,TEMP,16,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''
LDREAD,TEMP,13,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	AUTOTS,0	!* OUTPR,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1	NSUBST,2,0,0,0	!* NEQIT,3000
!* OUTRES,ALL,ALL,	KBC,1	!* TSRES,ERASE
!* NEQIT,3000	!* LSWRITE,14,	!* TIME,544
!* TIME,408	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 15	AUTOTS,0
AUTOTS,0	LDREAD,TEMP,15,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	NSUBST,2,0,0,0
NSUBST,2,0,0,0	!* OUTPR,ALL,ALL,	KBC,1
KBC,1	!* /GST,1	!* TSRES,ERASE
!* TSRES,ERASE	!* OUTRES,ALL,ALL,	LSWRITE,15,
LSWRITE,12,	!* NEQIT,3000	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 16
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 13	!* TIME,476	LDREAD,TEMP,16,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''
LDREAD,TEMP,13,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	AUTOTS,0	!* OUTPR,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1	NSUBST,2,0,0,0	!* NEQIT,3000
!* OUTRES,ALL,ALL,	KBC,1	!* TSRES,ERASE
!* NEQIT,3000	!* LSWRITE,14,	!* TIME,544
!* TIME,408	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 15	AUTOTS,0
AUTOTS,0	LDREAD,TEMP,15,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	NSUBST,2,0,0,0
NSUBST,2,0,0,0	!* OUTPR,ALL,ALL,	KBC,1
KBC,1	!* /GST,1	!* TSRES,ERASE
!* TSRES,ERASE	!* OUTRES,ALL,ALL,	LSWRITE,15,
LSWRITE,12,	!* NEQIT,3000	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 16

TSRES,ERASE	!* /GST,1	OUTPR,ALL,ALL,
LSWRITE,16,	TIME,612	!
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 17	AUTOTS,0	!
LDREAD,TEMP,17,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	NSUBST,2,0,0,0	OUTRES,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL,	KBC,1	!
!	!* TSRES,ERASE	NEQIT,3000
!	LSWRITE,18,	!
!	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 19	TIME,680
OUTRES,ALL,ALL,	LDREAD,TEMP,19,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	AUTOTS,0
!* NEQIT,3000	!	NSUBST,2,0,0,0
!	OUTPR,ALL,ALL,	KBC,1
!	/GST,1	!
TIME,578	!* OUTRES,ALL,ALL,	TSRES,ERASE
AUTOTS,0	!	LSWRITE,20,
NSUBST,2,0,0,0	!	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 21
KBC,1	NEQIT,3000	LDREAD,TEMP,21,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''
!* TSRES,ERASE	!* TIME,646	!
LSWRITE,17,	AUTOTS,0	OUTPR,ALL,ALL,
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 18	NSUBST,2,0,0,0	!
LDREAD,TEMP,18,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	KBC,1	OUTRES,ALL,ALL,
!* OUTPR,ALL,ALL,	!* TSRES,ERASE	!
!	LSWRITE,19,	!
OUTRES,ALL,ALL,	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 20	TIME,714
!* NEQIT,3000	LDREAD,TEMP,20,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	AUTOTS,0
!	!* KBC,1	NSUBST,2,0,0,0



!* TSRES,ERASE LSWRITE,21, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 22 LDREAD,TEMP,22,LAS T, , , 'DB','rth','' !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* !* TIME,748 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,22, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 23 LDREAD,TEMP,23,LAS T, , , 'DB','rth','' !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,24, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 25 LDREAD,TEMP,25,LAS T, , , 'DB','rth',''	NEQIT,3000 !* !* TIME,782 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,23, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 24 LDREAD,TEMP,24,LAS T, , , 'DB','rth','' !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* !* TIME,850 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,25, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 26 LDREAD,TEMP,26,LAS T, , , 'DB','rth','' !* !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* !* TIME,816 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,24, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 25 LDREAD,TEMP,25,LAS T, , , 'DB','rth',''	LDREAD,TEMP,25,LAS T, , , 'DB','rth','' !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* !* TIME,850 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 !* TSRES,ERASE LSWRITE,25, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 26 LDREAD,TEMP,26,LAS T, , , 'DB','rth','' !* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 !* OUTRES,ALL,ALL, !* NEQIT,3000 !* !* TIME,884 AUTOTS,0
---	--	--

103

TIME,1054	/GST,1	TSRES,ERASE
AUTOTS,0	!*	LSWRITE,34,
NSUBST,2,0,0,0	OUTRES,ALL,ALL,	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP
KBC,1	!*	35
!*	NEQIT,3000	LDREAD,TEMP,35,LAS
TSRES,ERASE	!*	T, , , 'DB', 'rth', ' '
LSWRITE,31,	!*	!*
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP	TIME,1122	OUTPR,ALL,ALL,
32	AUTOTS,0	/GST,1
LDREAD,TEMP,32,LAS	NSUBST,2,0,0,0	!*
T, , , 'DB', 'rth', ' '	KBC,1	OUTRES,ALL,ALL,
!*	!*	!*
OUTPR,ALL,ALL,	!*	NEQIT,3000
/GST,1	TSRES,ERASE	!*
!*	LSWRITE,33,	!*
OUTRES,ALL,ALL,	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP	TIME,1190
!*	34	AUTOTS,0
NEQIT,3000	LDREAD,TEMP,34,LAS	NSUBST,2,0,0,0
!*	T, , , 'DB', 'rth', ' '	KBC,1
!*	!*	!*
TIME,1088	OUTPR,ALL,ALL,	TSRES,ERASE
AUTOTS,0	/GST,1	LSWRITE,35,
NSUBST,2,0,0,0	!*	!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP
KBC,1	OUTRES,ALL,ALL,	36
!*	!*	LDREAD,TEMP,36,LAS
TSRES,ERASE	NEQIT,3000	T, , , 'DB', 'rth', ' '
LSWRITE,32,	!*	!*
!!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP	!*	OUTPR,ALL,ALL,
33	TIME,1156	/GST,1
LDREAD,TEMP,33,LAS	AUTOTS,0	!*
T, , , 'DB', 'rth', ' '	NSUBST,2,0,0,0	OUTRES,ALL,ALL,
!*	KBC,1	!*
OUTPR,ALL,ALL,	!*	NEQIT,3000

!* ! TIME,1224 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 ! TSRES,ERASE LSWRITE,36, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 37 LDREAD,TEMP,37,LAS T, , , 'DB', 'rth', '' ! OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 ! OUTRES,ALL,ALL, ! NEQIT,3000 ! TIME,1258 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 ! TSRES,ERASE LSWRITE,37, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 38 LDREAD,TEMP,38,LAS T, , , 'DB', 'rth', ''	!* OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 ! OUTRES,ALL,ALL, ! NEQIT,3000 ! TSRES,ERASE LSWRITE,38, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 39 LDREAD,TEMP,39,LAS T, , , 'DB', 'rth', '' ! OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 ! OUTRES,ALL,ALL, ! NEQIT,3000 ! TIME,1326 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0	KBC,1 ! TSRES,ERASE LSWRITE,39, !!!!!!!!!!!!!! LOADSTEP 40 LDREAD,TEMP,40,LAS T, , , 'DB', 'rth', '' ! OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 ! OUTRES,ALL,ALL, ! NEQIT,3000 ! TIME,1360 AUTOTS,0 NSUBST,2,0,0,0 KBC,1 ! TSRES,ERASE LSWRITE,40, !!!!!!!!!!!!!! PENDINGINAN LDREAD,TEMP,41,LAS T, , , 'DB', 'rth', '' ! OUTPR,ALL,ALL, /GST,1 ! OUTRES,ALL,ALL,
--	---	---

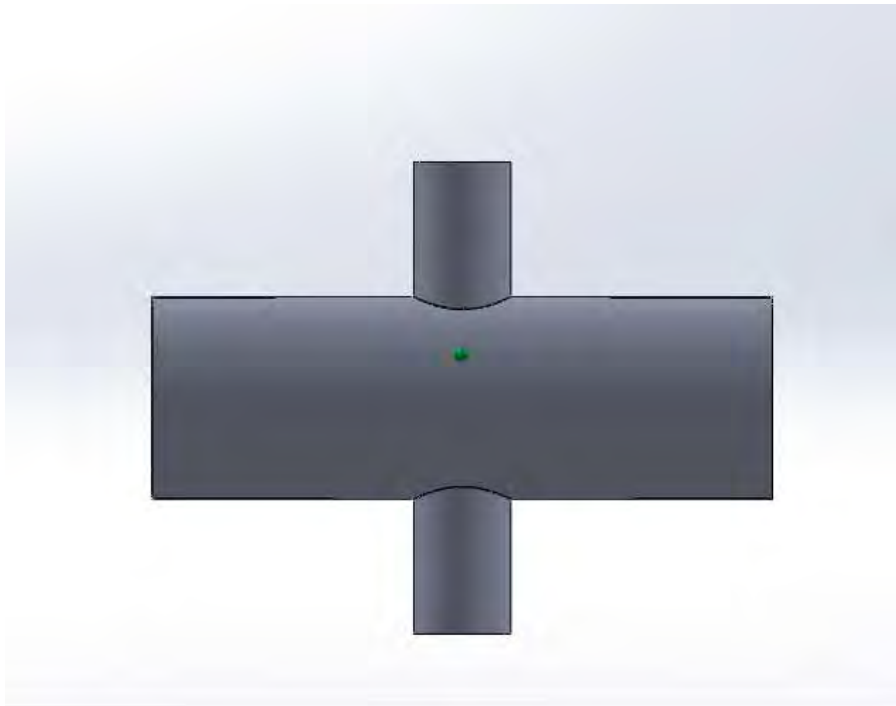
!\*  
NEQIT,3000  
!\*  
!\*  
TIME,12600  
AUTOTS,0  
NSUBST,60,0,0,0  
KBC,1  
!\*  
TSRES,ERASE  
LSWRITE,41,  
LSSOLVE,1,41,1,  
SAVE  
FINISH

**LAMPIRAN C**  
***INPUT COMMAND BOUNDARY CONDITION JEPIT***

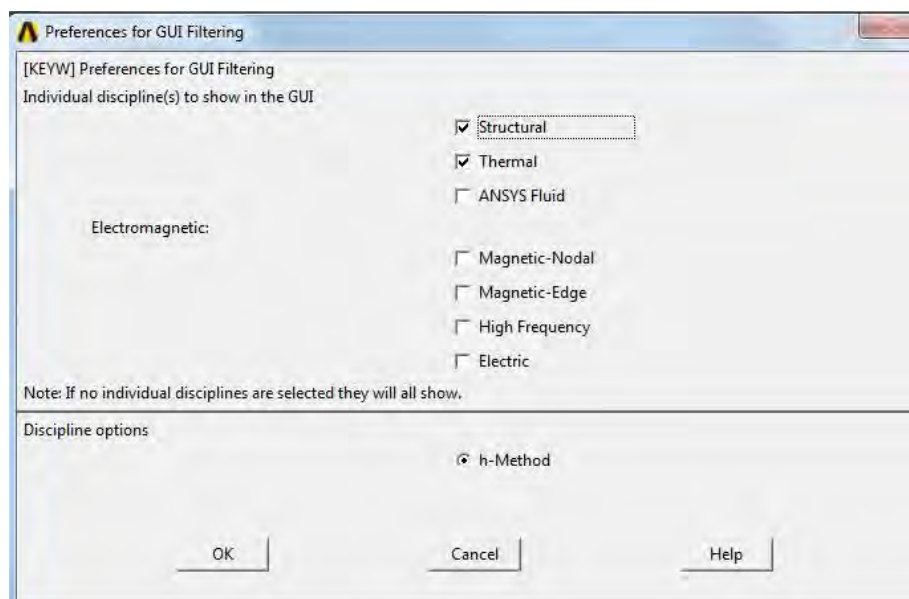
!!!! UX	!!!! UY	!!!! UZ
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,19	FITEM,2,19	FITEM,2,19
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
DA,P51X,UX,0	DA,P51X,UY,0	DA,P51X,UZ,0
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,125	FITEM,2,125	FITEM,2,125
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
DA,P51X,UX,0	DA,P51X,UY,0	DA,P51X,UZ,0
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,131	FITEM,2,131	FITEM,2,131
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
DA,P51X,UX,0	DA,P51X,UY,0	DA,P51X,UZ,0
FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1	FLST,2,1,5,ORDE,1
FITEM,2,118	FITEM,2,118	FITEM,2,118
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
NEQIT,3000	NEQIT,3000	NEQIT,3000
DA,P51X,UX,0	DA,P51X,UY,0	DA,P51X,UZ,0

**LAMPIRAN D**  
***SCREENSHOOT* TAHAP PEMODELAN**

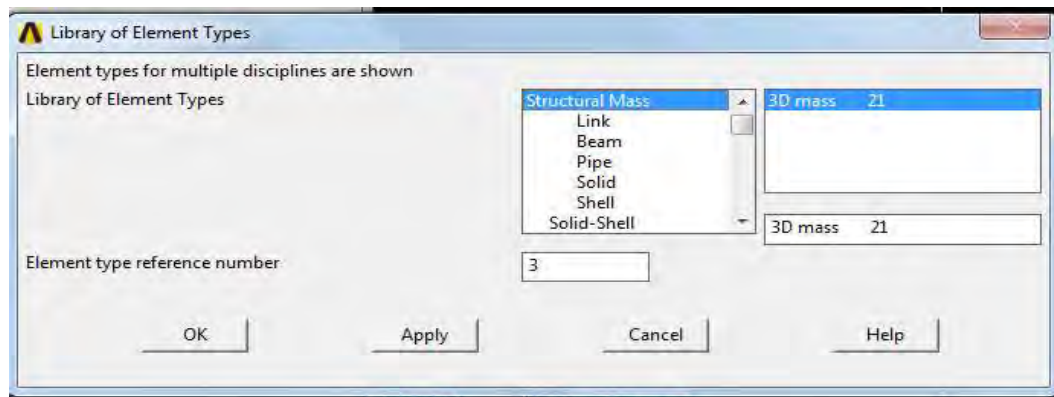




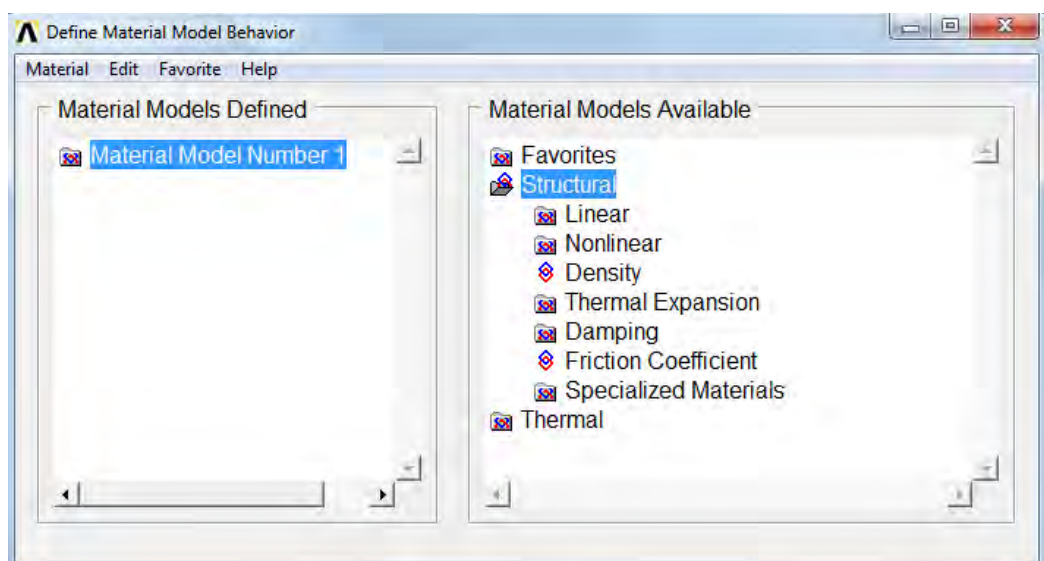
Gambar. D1



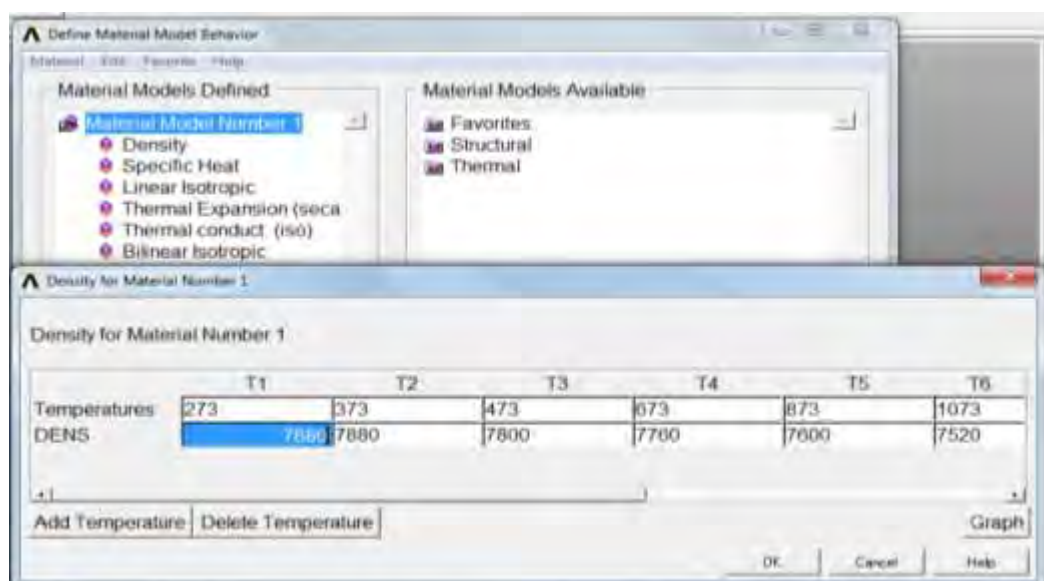
Gambar. D2



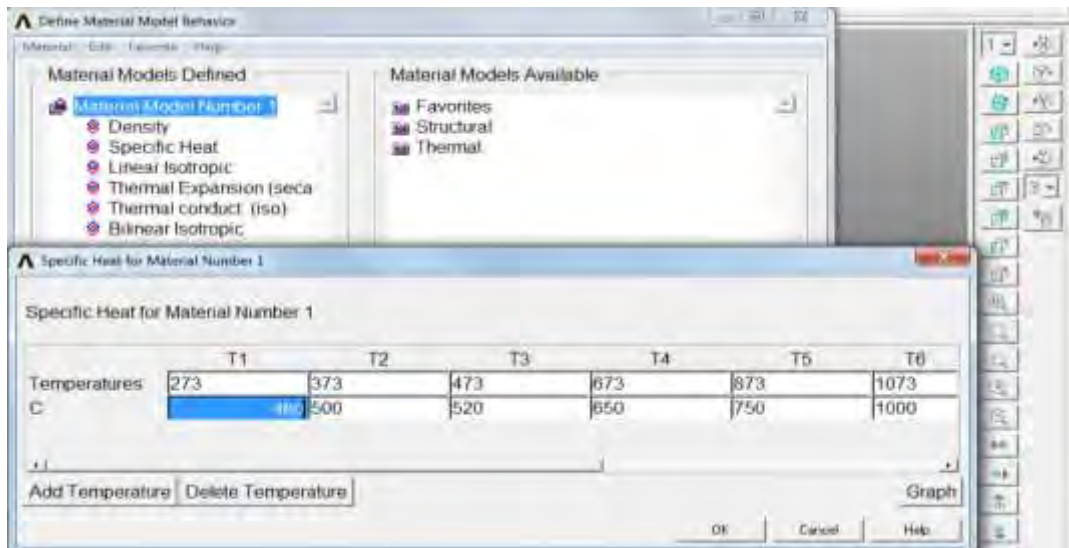
Gambar. D3



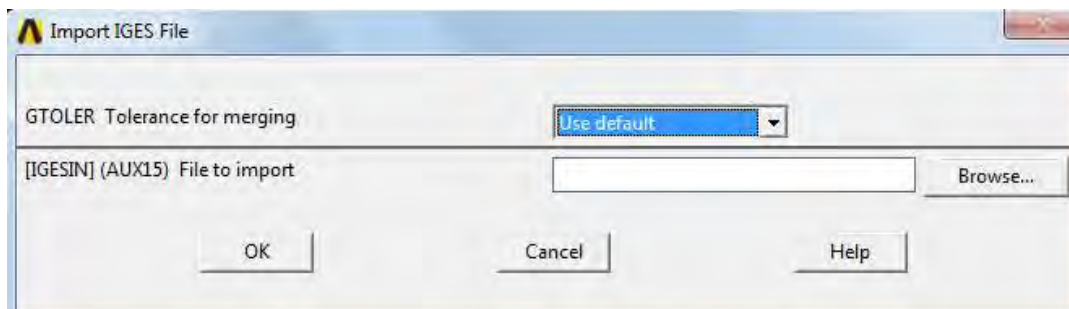
Gambar. D4



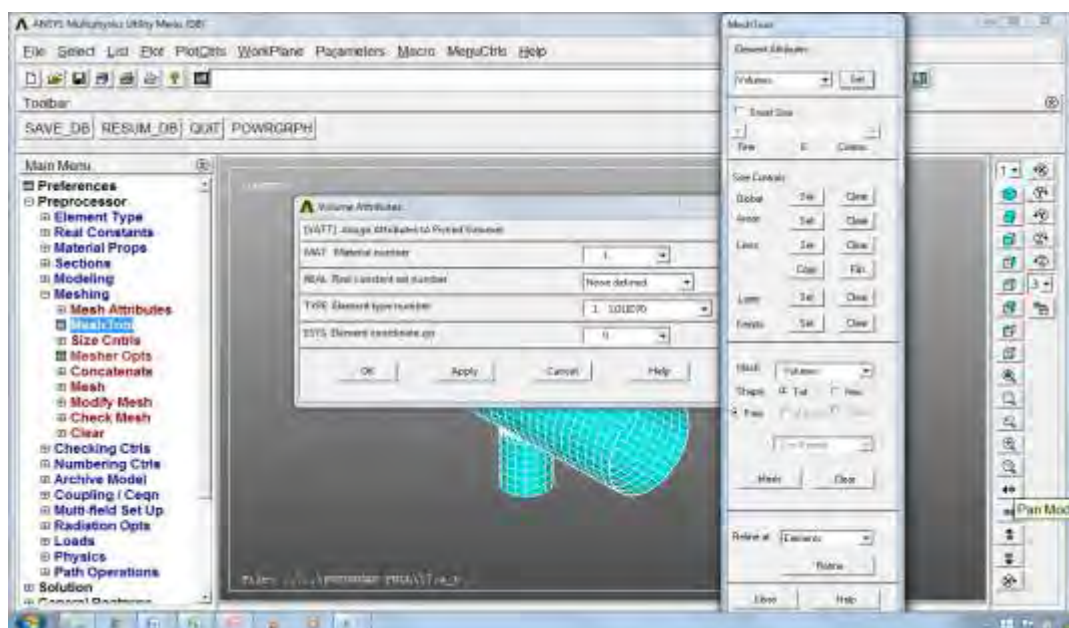
Gambar. D5



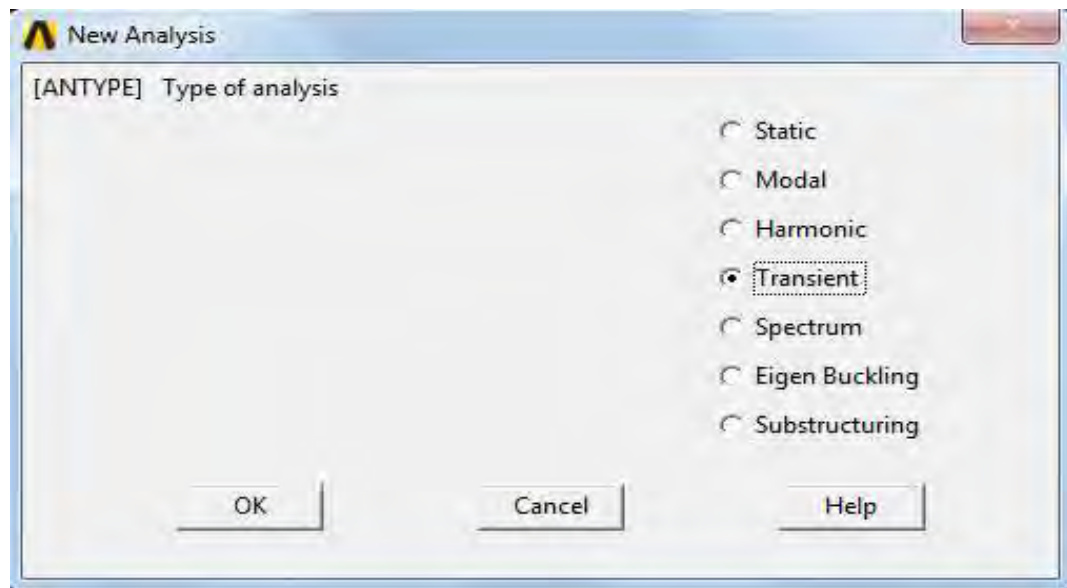
Gambar. D6



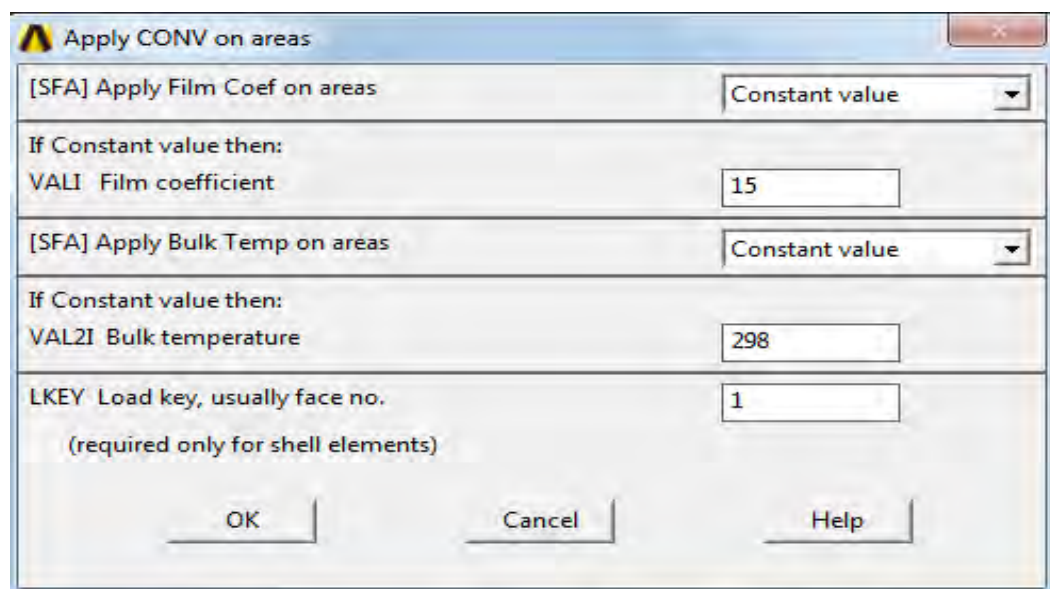
Gambar. D7



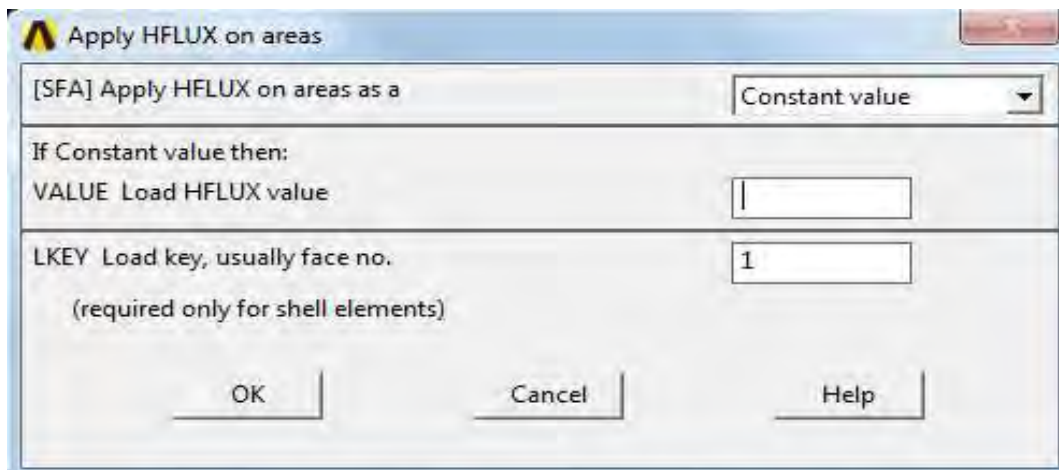
Gambar. D8



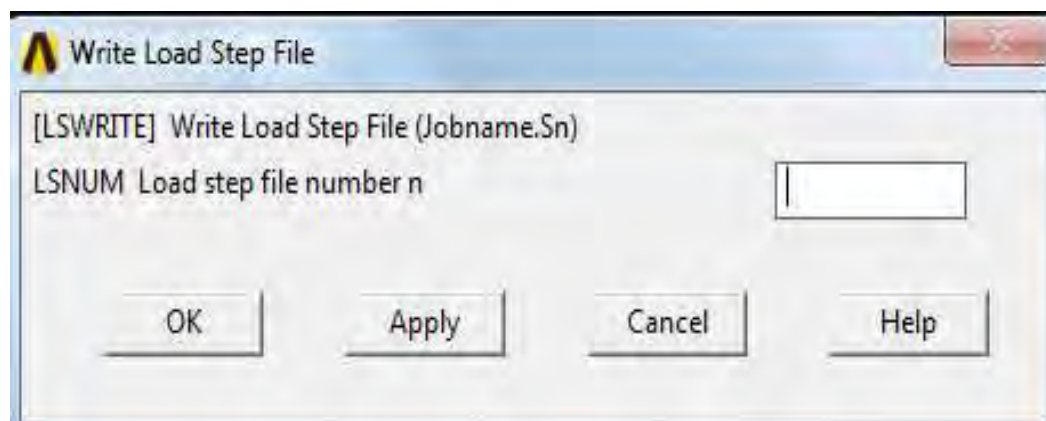
Gambar. D9



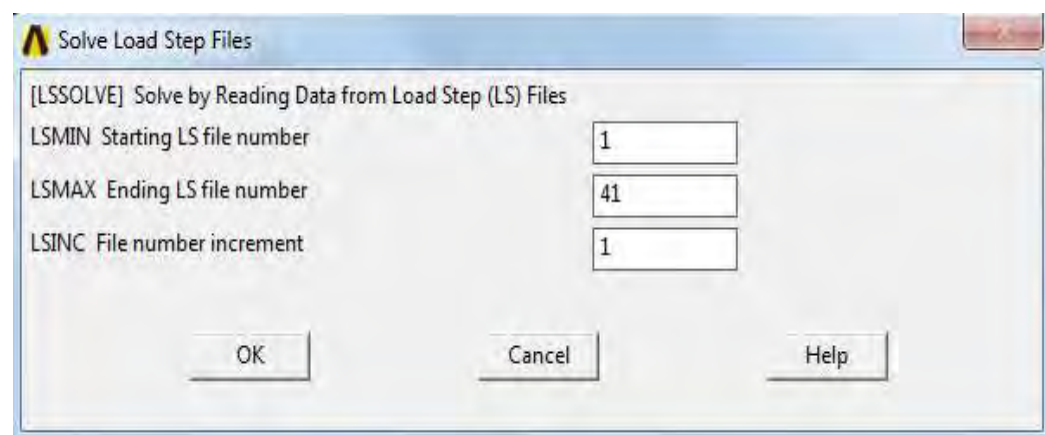
Gambar. D10



Gambar. D11



Gambar. D12






Gambar. D13



**LAMPIRAN E**

**DATA PENGELASAN BERDASARKAN *WELDING***  
***PROCEDURE SPESIFICATION (WPS)***

 ITI JAMMU FABRICATORS	<b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)</b> <b>1112 / WPS / G / 15</b> <small>STANDARD &amp; CODE: ASME B31.3 (Process)</small> <small>CUSTOMER: SELECTED ACTION: DRAW 1</small>	DATE: 15 October, 2015 PROJECT: Dams Development Project CLIENT: DMDC SUPPORTING FOR No.: 1111 / WPS / G / 15 1112 / WPS / G / 15 1113 / WPS / G / 15				
<b>Welding Process (s):</b> SMAW, TIGW		<b>Type:</b> MANUAL - SEMI-AUTOMATIC				
<b>JOINT DESIGN/USE</b> Type: SINGLE BEVEL Single side bevel: <input checked="" type="checkbox"/> Double side bevel: <input type="checkbox"/> Bevel: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Bevel method: <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Root Opening: 3 - 7 mm Root Face Clearance: 0 - 3 mm Groove Angle: 15° to 30° Back Chipping: Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		<b>POSITION</b> Position of Groove: TRV <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Vertical Position: Up <input checked="" type="checkbox"/> Down <input type="checkbox"/>				
<b>BASIC METALS</b> Material Spec: API 5X 50 and Equivalent Material Type: 50-55 50-60 50-65 50-70 50-75 50-80 50-85 50-90 AWS Group: Group 1 Manufacturing process: Hot Rolled or As Rolled Thickness: 10 to 15 mm Diameter (Type): 25		<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b> Current: AC <input type="checkbox"/> DCEP <input checked="" type="checkbox"/> DCEN <input type="checkbox"/> Pulse <input type="checkbox"/> Electrode (GTAW): Size: N/A Type: N/A				
<b>FILLER METAL</b> AWS Specification: E 7018 AWS Classification: E 7018-1 Trade name: Hyper Shield		<b>TECHNIQUE</b> Slopes or Bevels: 30° to 45° (2.5 x Electrode Diameter) Multi pass or Single pass joint: Multi PASS Number of Electrode: Single, Longitudinal Length: _____ Angle: _____ Wire Feed Speed (in/min): 25 - 35 in/min Contact Tube to Work Distance: 15 - 25 mm Interpass Cleaning: GRINDING AND / OR BRUSHING				
<b>SHIELDING</b> Flux: N/A Gas: CO <sub>2</sub> Electrode Flux (Class): N/A Flow Rate: 20 - 25 L/min Gas Cup Size: 22 mm		<b>POSTWELD HEAT TREATMENT</b> Temperature: N/A Time: N/A				
<b>PREHEAT</b> Preheat Temp. Min: 150 min x 150 x 25 mm ambient Temp. 25 mm x 25 mm x 25 mm 150 °C 25 mm x 25 mm x 25 mm 150 °C Preheat Temp. Min: 150 min x 150 x 25 mm 150 °C Method of Preheat: Flame Torch Method of Measurement: Digital Thermocouple Temp. Sizer						
<b>WELDING PROCEDURE</b>						
Weld joint	Filler Metal	Current	Travel Speed	Position	Heat Input	Joint Detail
Root	SMAW E 7018-1 3.2	DCEP 75 - 100	18 - 24	TRV	3.5 kJ/mm	
Hot	SMAW E 7018-1 3.2	DCEP 85 - 120	10 - 25	TRV	3.5 kJ/mm	
Hot	FCAR E 7018-1 1.2	DCEP 140 - 200	30 - 35	TRV	3.5 kJ/mm	
Cap	FCAR E 7018-1 1.2	DCEP 140 - 200	30 - 35	TRV	3.5 kJ/mm	
<b>Welding Sequence</b>						
						
SIGN	SIGN	SIGN	SIGN	SIGN	SIGN	SIGN
NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015	NAME: <i>Arif Shahid R.</i> DATE: 15/10/2015

**LAMPIRAN F**  
***LOADSTEP* URUTAN PENGELASAN**



### 1. Loadstep urutan menerus

NO	AREA	TIME	NO	AREA	TIME
1	41	34.0	21	96	714
2	42	68.0	22	95	748
3	43	102.0	23	94	782
4	44	136.0	24	93	816
5	45	170.0	25	92	850
6	46	204.0	26	91	884
7	47	238.0	27	90	918
8	48	272.0	28	89	952
9	49	306.0	29	88	986
10	51	340.0	30	87	1020
11	31	374.0	31	107	1054
12	32	408.0	32	105	1088
13	33	442.0	33	104	1122
14	34	476.0	34	103	1156
15	35	510.0	35	102	1190
16	36	544.0	36	101	1224
17	37	578.0	37	100	1258
18	38	612.0	38	99	1292
19	39	646.0	39	98	1326
20	40	680.0	40	97	1360

### 2. Loadstep urutan simetris

NO	AREA	TIME	NO	AREA	TIME
1	41	34.0	21	96	714
2	42	68.0	22	95	748
3	43	102.0	23	94	782
4	44	136.0	24	93	816
5	45	170.0	25	92	850
6	46	204.0	26	91	884
7	47	238.0	27	90	918
8	48	272.0	28	89	952
9	49	306.0	29	88	986
10	51	340.0	30	87	1020
11	40	374.0	31	97	1054
12	39	408.0	32	98	1088
13	38	442.0	33	99	1122
14	37	476.0	34	100	1156
15	36	510.0	35	101	1190
16	35	544.0	36	102	1224

17	34	578.0	37	103	1258
18	33	612.0	38	104	1292
19	32	646.0	39	105	1326
20	31	680.0	40	107	1360

### 3. Loadstep urutan Loncat

NO	AREA	TIME	NO	AREA	TIME
1	41	34.0	21	96	714
2	42	68.0	22	95	748
3	43	102.0	23	94	782
4	44	136.0	24	93	816
5	45	170.0	25	92	850
6	31	204.0	26	87	884
7	32	238.0	27	107	918
8	33	272.0	28	105	952
9	34	306.0	29	104	986
10	35	340.0	30	103	1020
11	46	374.0	31	91	1054
12	47	408.0	32	90	1088
13	48	442.0	33	89	1122
14	49	476.0	34	88	1156
15	51	510.0	35	87	1190
16	36	544.0	36	101	1224
17	37	578.0	37	100	1258
18	38	612.0	38	99	1292
19	39	646.0	39	98	1326
20	40	680.0	40	97	1360

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa pada bab sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisa thermal, didapatkan distribusi panas dari pemodelan ketiga variasi urutan pengelasan, yaitu menerus, simetris dan loncat dimana ketiga variasi memiliki kecenderungan bentuk nodal temperature yang sama. Pola pada nodal temperature yang diambil pada awal pengelasan suhu mencapai suhu maksimal kemudian berangsur-angsur turun mencapai suhu ruangan. Pada urutan pengelasan menerus nodal temperature pada awal pengelasan suhu maksimal mencapai 1898.83 K, untuk urutan pengelasan simetris suhu maksimal mencapai 1798.83 K dan untuk urutan pengelasan loncat atau putus-putus suhu maksimal mencapai 1800.63 K.

2. - Untuk hasil analisa struktural dengan urutan pengelasan menerus didapatkan tegangan sisa aksial maksimum pada bagian atas chord adalah 272.7 MPa, pada bagian bawah chord adalah 307.1 MPa, sedangkan total deformasi yang terjadi adalah sebesar 0.015781 m.

- Untuk hasil analisa struktural dengan urutan pengelasan simetris didapatkan tegangan sisa aksial maksimum pada bagian atas chord adalah 260.3 MPa, pada bagian bawah chord adalah 305.1 MPa, sedangkan total deformasi yang terjadi adalah sebesar 0.015782 m.

- Untuk hasil analisa struktural dengan urutan pengelasan loncat didapatkan tegangan sisa aksial maksimum pada bagian atas chord adalah 254.9 MPa, pada bagian bawah chord adalah 303.5 MPa, sedangkan total deformasi yang terjadi adalah sebesar 0.015777 m.

3. Variasi urutan pengelasan terbaik yang menghasilkan tegangan sisa aksial maupun total deformasi terkecil adalah urutan pengelasan loncat atau putus-putus.

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan validasi pemodelan dengan eksperimen.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat merubah *intersection angle* ( $\theta$ ) antara *chord* dan *brace*.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa perbandingan hasil tegangan sisa dan deformasi antara variasi *welding sequences* dan PWHT.
4. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa pengaruh tegangan sisa dan deformasi karena adanya pengaruh besarnya diameter brace dan chord

## **BAB VI**

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Akbar, Taufik. Budie Santosa. 2012. “Analisa Pengaruh dari Welding Sequence Terhadap Tegangan Sisa dan Deformasi Pada Circular Patch Weld Double Bevel Butt-Joint Plat ASTM A36 Menggunakan Metode Element Hingga”. **JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1(Sept. 2012) ISSN: 2301-9271**.
- Andika, Awang Dwi. 2009. **“Penentuan Welding Sequence Terbaik Pada Pengelasan Sambungan-T Pada Sistem Perpipaan Kapal Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ANSYS. 2013. **“ANSYS Mechanical APDL Theory Reference”** Release 15, ANSYS Inc.
- Dewangga, Dimas Valditya. 2012. **“Analisa Pengaruh Flank Angle, Toe Radius, dan Preparation Angle Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Pada Pengelasan Butt Joint Dengan Kampuh V Ganda Menggunakan Metode Elemen Hingga”** . Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Firmandha, Topan. 2007. **“Analisa Perilaku Tegangan Sisa Dan Perubahan Sudut Distorsi Pada Sambungan Tumpul Dengan Variasi Tebal Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga”**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gurinder Singh Brar a, Chandra Shekhar Singh. 2014. *“FEA of residual stress in cruciform welded joint of hollow sectional tubes”*. **Journal of Constructional Steel Research 102 (2014) 44–58**.
- Jeyakumar, M. T. Christopher.2013.”Influence of residual stress on failure pressure of sylindrical pressure vessels”. **Chinese Journal of Aeronautics, (2013),26(6): 1415-1421**.

Kimiya Hemmesi, et. al. 2014. “Numerical Investigation of Welding Residual Stress Field and its Behaviour under Multiaxial Loading in Tubular Joints”. **Advanced Material Research ISSN: 1662-8985, Vol 996, pp 788-793.**

Mahfud, Soeweify. 2012. “Analisa Pengaruh Variasi Tanggem Pada Pengelasan Pipa Carbon Steel Dengan Metode Pengelasan SMAW dan FCAW Terhadap Deformasi dan Tegangan Sisa Menggunakan Analisa Pemodelan Elemen Hingga”. **JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1(Sept. 2012) ISSN: 2301-9271.**

Okumura T, Wiryosumarto H. 1994 “**Teknologi Pengelasan Logam = Welding Engineering**”. Jakarta : Pradnya Paramita.

Teng et. Al. 2003. “Effect of welding sequences on residual stresses”. **Journal Computers and Structures 81 (2003) 273–286.**

Yusuf Ozcatalbasa, H. Ibrahim Vural. 2009. “Determination of optimum welding sequence and distortion forces in steel lattice beams”. **Journal of Materials Processing Technology 2009 (2009) 599-604.**

## BIODATA PENULIS



Rifqi Bintari Nurhayati dilahirkan di Malang pada 20 Juni 1994. Penulis menempuh pendidikan di SD Negeri Pagelaran 02, SMP Negeri 1 Turen dan SMA Negeri 5 Malang. Selanjutnya penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur Mandiri dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis sempat aktif menjadi staff Biro Media Informasi HIMATEKLA 13/14, dan menjadi staff senior di Departemen Media Informasi HIMATEKLA 14/15. Penulis juga sempat aktif menjadi panitia kegiatan kampus. Penulis pernah bekerja praktek di PT. Sentra Prima Services Sidoarjo. Bidang yang dipilih oleh penulis adalah produksi lepas pantai sehingga Tugas Akhir yang diambil penulis berhubungan dengan pengelasan pada sambungan baja tubular.